

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

Band: - (1996)

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: 19.11.2024

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

2. Radon

W. Gfeller, M. Holliger, G. Piller, J. Rodriguez, G.-A. Roserens, W. Zeller

Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz
Fachstelle Radon und Abfälle, 3003 BERN

U. Johner Sektion Überwachung der Radioaktivität, SUER
Bundesamt für Gesundheit
Ch. du Musée 3, 1700 FRIBOURG

2.1. Überblick

Radon und Radonfolgeprodukte verursachen in der Schweiz etwa 40 Prozent der mittleren Strahlenbelastung. Nach aktuellen Kenntnissen sind einige Prozent der Lungenkrebs-erkrankungen der Radonexposition zuzuschreiben. Radon stellt im Wohnbereich für Nichtraucher ein mit Abstand grösseres Lungenkrebsrisiko dar als alle chemischen Kanzerogene. Es gibt momentan keine Hinweise für extrapulmonale Tumore.

Das BAG führt seit den achtziger Jahren Radon-Untersuchungen durch. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in der Strahlenschutzverordnung (StSV) berücksichtigt worden. Zum Schutz der Bevölkerung vor stark erhöhten Radonkonzentrationen wurde ein Grenzwert von 1000 Bq/m^3 eingeführt. Oberhalb dieses Wertes muss der Gebäudeeigentümer eine Sanierung durchführen. Für Neu- und Umbauten gilt ein Richtwert von 400 Bq/m^3 .

Mit der StSV wurden den Kantonen auch Aufgaben im Radon-Bereich übertragen. Erste Priorität hat die Erstellung eines Radon-Katasters. Das BAG hat diesbezüglich Empfehlungen gemacht und koordiniert die nötigen Messkampagnen. Die Kantone werden durch regelmässige Schreiben auf dem Laufenden gehalten. Zusätzlich wird jährlich ein Informationstag für die kantonalen Radon-Verantwortlichen durchgeführt. Die offene und transparente Information findet ein sehr positives Echo, was sich auf die Zusammenarbeit mit den Kantonen besonders günstig auswirkt.

Am Informationstag 1996 hat erstmals ein renommierter ausländischer Referent (Prof. Dr. F. Steinhäusler, Universität Salzburg) teilgenommen. Dies kam äusserst gut an und hat das Bedürfnis geweckt, zwischen Deutschland (D), Österreich (A) und der Schweiz (CH) informelle Diskussionsrunden durchzuführen. Damit wurde "Radon-DACH" ins Leben gerufen.

Die Radon-Datenbank wurde neu bearbeitet und den Kantonen für die Dateneingabe zur Verfügung gestellt.

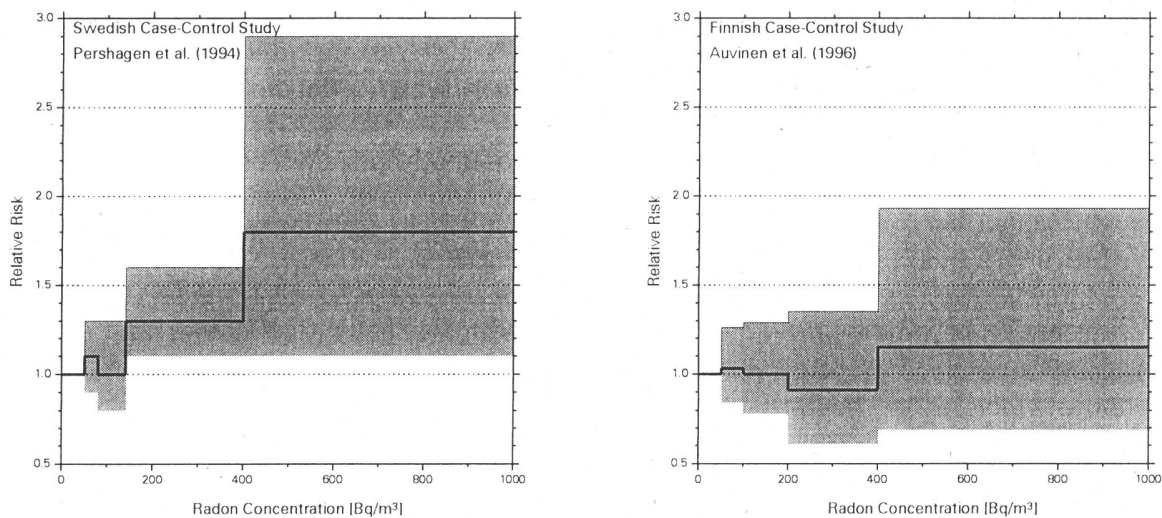
In Zusammenarbeit mit dem Kanton Graubünden wurde an der Handels-, Industrie- und Gewerbeausstellung (HIGA) in Chur die Radon-Thematik behandelt. Erstmals wurden die CD-ROM und die Ausstellungsposter in der Öffentlichkeit gezeigt. Das Interesse war gross und die Reaktionen äusserst positiv.

2.2. Gesundheitliche Auswirkungen

Der Zusammenhang zwischen Lungenkrebssterblichkeit und Radonfolgeproduktexposition bei Bergarbeitern ist gut dokumentiert. Die gemeinsame Analyse von 11 Studien (Lubin, 1994) ergibt eine lineare Expositions-Wirkungsbeziehung.

Ob und inwieweit die Resultate dieser Studien auf die allgemeine Bevölkerung übertragen werden können, ist noch nicht genügend geklärt. Mit einem geeigneten Lungenmodell und unter Berücksichtigung von Faktoren wie Alter, Geschlecht, Aerosolgrößenverteilung, Anteil ungebundener Radonfolgeprodukten usw. könnte dies eventuell erreicht werden. Zur Zeit ist aber kein Lungenmodell direkt für Radonfolgeprodukte anwendbar; auch das der internationalen Strahlenschutzkommission nicht (ICRP, 1994).

Ökologische Studien sind im Radonbereich nicht angebracht, da der Effekt gegenüber dem Rauchen als klein eingestuft werden muss. Es werden Fallkontrollstudien bevorzugt, obwohl auch diese gewisse Unsicherheiten aufweisen.



Figur 1a, b: Relatives Lungenkrebsrisiko im Wohnbereich als Funktion der Radongaskonzentration (jeweils mit dem entsprechenden 95%-Vertrauensintervall)

Die zwei umfangreichsten Studien, die schwedische und die finnische kommen zu unterschiedlichen Folgerungen. In der schwedischen Studie (Figur 1a) ergibt sich eine signifikante Zunahme des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration. Die finnische Studie (Figur 1b) zeigt keine signifikante Zunahme.

Mehrere ausgedehnte Fallkontrollstudien laufen zurzeit. Neue Ergebnisse sind im Verlauf der nächsten Jahre zu erwarten. Es scheint aber jetzt schon gesichert, dass im tieferen Konzentrationsbereich keine signifikante Zunahme des Lungenkrebsrisikos nachweisbar sein wird, auch wenn alle Studien gepoolt werden. Es ist jedoch unbestritten, dass hohe Konzentrationen unbedingt vermieden werden sollten (WHO, 1996).

Aus den Bergarbeiterstudien haben die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP, 1993) und das amerikanische "Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations"

(BEIR, 1988) Empfehlungen zur Abschätzung des Lungenkrebsrisikos hergeleitet. Danach könnten in der Schweiz bis zu 20 % der Lungenkrebserkrankungen von der Radonfolgeproduktexposition herrühren. Dies ist vermutlich eine beträchtliche Überschätzung des Risikos. Aus den Fallkontrollstudien im Wohnbereich wird sich mit grosser Wahrscheinlichkeit ergeben, dass unter 10 % der Lungenkrebserkrankungen durch Radonfolgeprodukte verursacht sind.

2.3. Aktuelle Kenntnisse

Die Resultate der bisherigen Radon-Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden (BAG, 1992-1995):

- Radon dringt hauptsächlich vom Untergrund her in die Häuser ein. Der Beitrag durch Baumaterialien und Wasser spielt eine untergeordnete Rolle.
- Die im Boden produzierte Radon-Menge hängt von dessen Radiumgehalt ab. Hohe Radiumkonzentrationen bewirken aber nicht unbedingt ein Radon-Risiko. Das produzierte Radon muss sich noch leicht bewegen können. Es ist also die Bodenpermeabilität, die massgebend ist.
- Schon ein sehr kleiner Unterdruck im Haus (einige Pa) kann bewirken, dass radonhaltige Luft vom Untergrund her ins Haus gesogen wird. Unterdruck kann entstehen durch das Steigen wärmerer Luft, durch Ventilatoren, bei Wind, etc. .
- Eine gegossene Betonplatte als Gebäudfundament vermag das Eintreten von Radon zu hemmen.
- Die Radon-Konzentration nimmt von Stockwerk zu Stockwerk ab. Meist ist ab dem zweiten Stock nicht mehr mit hohen Radon-Werten zu rechnen.
- Die Abdichtung der Gebäudehülle führt nicht unbedingt zu einer Erhöhung der Innenluft-Konzentration.
- Der Innenluft-Radon-Gehalt 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 Faktor 100 Unterschied wurde schon angetroffen.
- Eine Voraussage der Radongaskonzentration für ein Einzelhaus ist nicht möglich; der Radongehalt kann nur durch eine Messung ermittelt werden.
- Die Vorhersage des Radonpotentials mittels geologischer Kriterien ist unsicher und die in einer Region scheinbar geltenden "Regeln" lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragen.

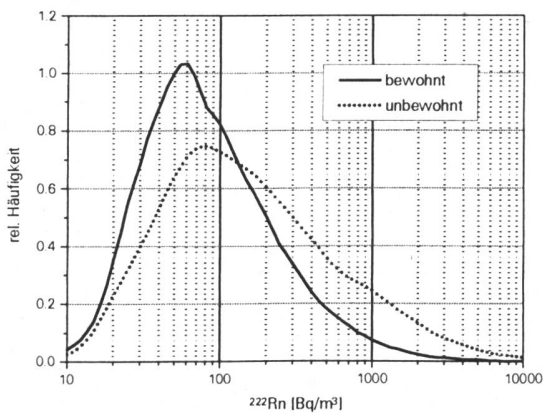
2.4. Messkampagnen

Mit der neuen StSV haben die Kantone die Aufgabe erhalten, ein Radonkataster zu erstellen. Erfreulicherweise haben sich viele Kantone entschlossen, während der Heizperiode 95/96 Messkampagnen durchzuführen.

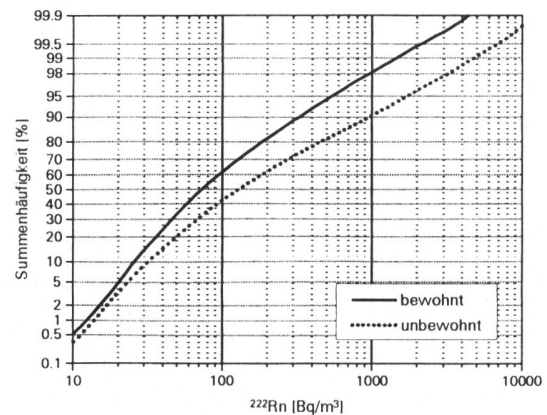
In den Kantonen Aargau, Appenzell IR, Bern, Basel-Stadt, Basel-Land, Luzern, Glarus, Graubünden, Schaffhausen, St. Gallen, Thurgau und Tessin wurden ausgedehnte Messkampagnen mit etwa 9000 Messungen durchgeführt. In den ausgewählten Gemeinden wurden gemäss der Empfehlung des BAG meistens 20 Häuser ausgemessen.

Es wurden Häuser mit Richt- und Grenzwertüberschreitungen gefunden, und einige Gemeinden sind nach den aktuellen Kriterien für Radongebiete (BAG 1996), als solche einzustufen.

Die Schweizerische Radon-Datenbank umfasst heute Messungen von ca. 15000 Häusern. Die Messwerte häufen sich für bewohnte Räume bei 60 Bq/m^3 ; für unbewohnte Räume bei 80 Bq/m^3 (Figur 2). Der Median liegt für bewohnte bzw. unbewohnte Räume bei 73 Bq/m^3 resp. 127 Bq/m^3 (Figur 3). Der Anteil der Häuser mit Grenzwertüberschreitung liegt bei ca. 2%. In gut 90% der gemessenen Häuser liegt die Radongaskonzentration unter dem Richtwert von 400 Bq/m^3 . Sobald aus den verschiedenen Regionen repräsentative Verteilungen vorliegen, werden entsprechende Gewichtungen eingeführt. Die jetzigen Verteilungen sind durch die vielen Messungen im Kanton Tessin geprägt.

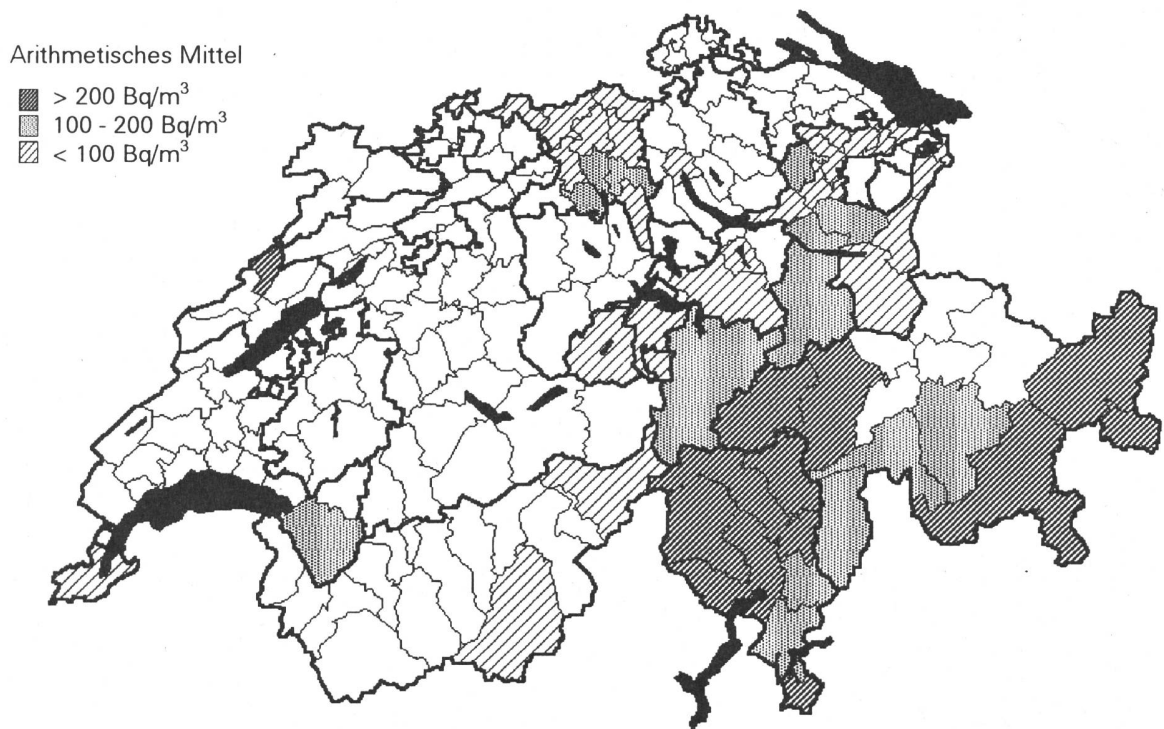


Figur 2:
Häufigkeitsverteilung in bewohnten und unbewohnten Räumen



Figur 3:
Summenhäufigkeitsverteilung für bewohnte und unbewohnte Räume

Die Radonkarte der Schweiz (Stand Dezember 1996, Figur 4) weist in den Kantonen Graubünden und Tessin sowie im Neuenburger Jura Regionen mit erhöhter Radonkonzentration auf. In vielen Bezirken ist die Anzahl der ausgemessenen Häuser zu gering um eine Klassierung vornehmen zu können.



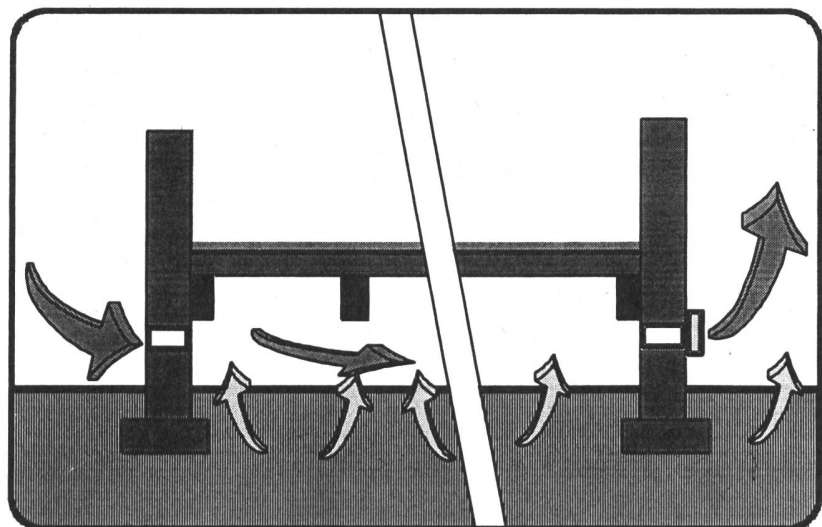
Figur 4: Radon in der Schweiz. (Stand Dezember 1996) Ungenügend erfasste Bezirke sind weiss dargestellt. (Bezirks- und Kantons Grenzen, BFS GEOSTAT / L+T)

2.5. Eine einfache Sanierungsmethode

Hat ein Haus ein Radonproblem, können eventuell vorhandene Hohlräume belüftet werden. Hohlräume werden bei Neubauten nicht mehr systematisch angewendet. Es gibt andere Methoden, um Feuchtigkeitsprobleme zu vermeiden.

Figur 5:

Erhöhung der Lüftungsrate von Hohlräumen



An 3 Gebäuden wurde versucht durch Erhöhung der Luftwechselrate in Hohlräumen die Radongaskonzentration im Wohngebäude zu senken.

Fall 1: Neubau nach biologischer Bauweise.

Die Messungen wurden mit unterdrückter Belüftung des Hohlraums sowie im Normalbetrieb (Belüftung ohne Ventilator) durchgeführt.

Raum	Belüftung unterdrückt	Normalbelüftung
Wohnzimmer Erdgeschoss	470 Bq/m ³	90 Bq/m ³

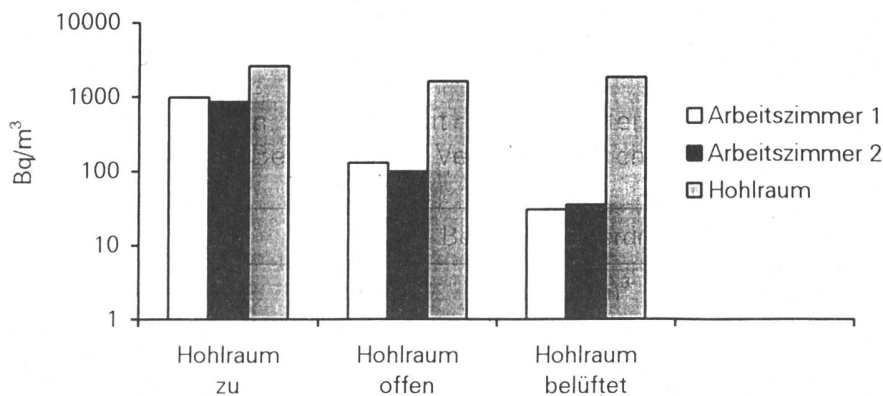
Fall 2: Einfamilienhaus

Die Messungen wurden mit unterdrückter Belüftung des Hohlraums sowie im Normalbetrieb (Belüftung mit Ventilator) durchgeführt.

Raum	Belüftung unterdrückt	Normalbetrieb
Wohnzimmer 1. Stock	920 Bq/m ³	370 Bq/m ³

Fall 3: Bürogebäude

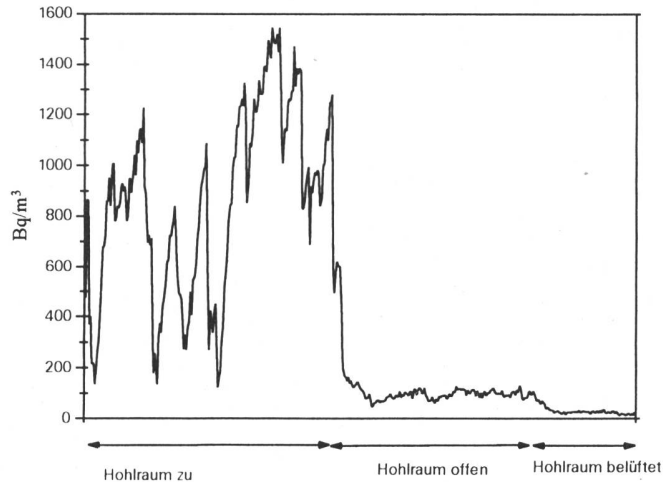
Der Hohlraum war ursprünglich offen und gut belüftet. Wegen energietechnischen Überlegungen und Benützungskomfort wurden die Öffnungen durch den Einbau von Fenstern geschlossen.



Figur 6: Radongasmessungen in den verschiedenen Räumen unter verschiedenen Bedingungen. Hohlraumfenster geschlossen. Hohlraumfenster geöffnet. Geschlossene Hohlraumfenster mit eingeschaltetem Ventilator.

Figur 7:

Kontinuierliche
Radongasmessungen
im Arbeitszimmer 1



2.6. Informationskonzept Radon

Der Fachstelle liegt ein mit einer externen Stelle erarbeitetes Informationskonzept vor.

- Eine breit angelegte Informationskampagne erscheint weder sinnvoll noch effektiv. Die Sensibilisierung der breiten Bevölkerung würde ein Vielfaches des Jahresbudgets der Fachstelle kosten. Das breite Publikum kann durch kostengünstigere Informationskanäle wie Zeitungen informiert werden.
- Das Radonproblem ist mit einem Schwerpunktprogramm anzugehen. Dies heisst: Messung, Sanierung, Prävention sowie Information und Ausbildung.

2.7. Die Sonderschau "Radon" an der HIGA in Chur

Die HIGA (Handels-, Industrie- und Gewerbeausstellung) fand vom 10. - 19. Mai 1996 in Chur statt. In Zusammenarbeit mit dem Kantonalen Laboratorium Graubünden wurde dort eine Sonderschau "Radon" organisiert.



Figuren 8 und 9: Plakat der HIGA und Stand der Sonderschau.

Folgende Ziele wurden angestrebt:

- Information der Bevölkerung in einem Kanton mit erhöhten Radonkonzentrationen.
- Information der Baufachleute aus der Region und ihnen mögliche bauliche Lösungen aufzeigen.
- Präsentation der neuen CD-ROM, der Ausstellungstafeln und der Modelle.

Innert 10 Tagen konnten Tausende von Personen über Radon informiert werden, sei es durch den Besuch des Standes, über Lokalradio und regionale Zeitungen.

Das halbtägige Seminar für Baufachleute erlaubte über 70 Teilnehmern das Thema Radon kennen zu lernen und zu vertiefen. Es wurde von drei BAG-Mitarbeitern, einem Regierungsrat, dem Kantonschemiker und drei privaten Architekten durchgeführt.

Die Teilnahme an der HIGA kann als erfolgreich bezeichnet werden. Die Neuigkeiten sind bei den Besuchern gut angekommen und die Fachstelle konnte für die Zukunft wertvolle Erfahrungen sammeln.

2.8. CD-ROM

Zur Information der Bevölkerung über das radioaktive Edelgas Radon hat das BAG eine CD-ROM herausgegeben. Es werden keine speziellen Kenntnisse betreffend Radon vorausgesetzt, so dass die wesentlichen Inhalte von allen erfasst werden können. Die CD-ROM richtet sich insbesondere an Hausbesitzer, Architekten, Baufachleute und obere Schulstufen.

Nach einer kurzen Einleitung durch Frau Bundesrätin Ruth Dreifuss hat der Benutzer im Wesentlichen zwei Möglichkeiten.

- Es gibt einen Showteil, der im Selbstablauf funktioniert. Er enthält die wesentlichen Inhalte in vereinfachter Form und dauert etwa fünf Minuten. Die Interaktivität ist hier bewusst auf einem niedrigerem Niveau gehalten.
- Der Hauptbereich mit den ausführlicheren Informationskapiteln ist auf ein sorgfältigeres Erkunden ausgerichtet. Es muss im Programm bewusst herumnavigiert werden.

Es wird angestrebt, dass der Anwender des Programmes die Gefahren des Edelgases Radon erkennt, und dass er weiss,

- wie Radon in das Haus gelangen kann.
- wie Radon gemessen werden kann.
- was gegen Radon getan werden kann.
- wie er sich weiter informieren kann.

Es gibt auch einen Quizteil mit drei Schwierigkeitsgraden. Mit einem "Quiz für Laien", einem "Quiz für Fortgeschrittene" und einem "Quiz für Spezialisten" kann das Erlernete getestet werden.

Referenzen

- Auvinen, A., Mäkeläinen, I., Hakama, M., Castrén, O., Pukkala, E., Reisbacka, H. and Rytömaa, T. (1996), "Indoor Radon Exposure and Risk of Lung Cancer: a Nested Case-Control Study in Finland", *J. Natl., Cancer Inst.*, 88/14, 966-972
- BAG, (1992), "Radonprogramm Schweiz RAPROS, Bericht über die Jahre 1987-1991", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, CH-3003 Bern, ISBN 3-905235-00-5
- BAG, (1992), "Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz 1989-1990", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, ISBN 3-905235-01-3
- BAG, (1992), "Radioaktivität der Umwelt in der Schweiz 1991", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, ISBN 3-905235-04-8
- BAG, (1993), "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1992", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, ISBN 3-905235-09-9
- BAG, (1994), "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1993", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, ISBN 3-905235-14-5
- BAG, (1995), "Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1994", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, CH-3003 Bern, ISBN 3-905235-16-1
- BAG, (1996), "Radon-Jahresbericht 1995 / Radon: rapport annuel 1995", Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, CH-3003 Bern, ISBN 3-905235-17-X
- BEIR, (1988), "Health Risks of Radon and other internally deposited alpha-emitters, BEIR-IV", National Academy Press, Washington D.C., ISBN 0-309-03789-1
- ICRP (International Commission on Radiological Protection) (1993), "Protection against Radon-222 at Home and at Work", ICRP Publ. 65, *Annals of ICRP Vol 23/2*, Pergamon Press, Oxford
- ICRP (International Commission on Radiological Protection) (1994), "Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection", ICRP Publ. 66, *Annals of ICRP Vol 24/14*, Pergamon Press, Oxford
- Lubin, J., Boice, J.D., Edling, C.H., Hornung, R., Howe, G., Kunz, E., Kusiak, A., Morrison, H.I., Radford, E.P., Samet, J.M., Tirmarche, M., Woodward, A., Xiang, Y.S. and Pierce, D.A. (1994), "Radon and lung cancer risk: A joint analysis of 11 underground miners studies", US National Institutes of Health. NIH publication No. 94-3644
- Pershagen, G., Åkerblom, G., Axelson, O., Clavensjö, B., Damber, L., Desai, G., Enflo, A., Lagarde, F., Mellander, H., Svartengren, M. and Swedjemark, G.A. (1994), "Residential radon exposure and lung cancer in Sweden", *N. Engl. J. Med.*, 330/3, 159-164
- WHO, (1996), "Indoor air Quality: A risk-based approach to health criteria for radon indoors", Report on a WHO Working Group, Eilat, Israel, 28 March-4 April 1993, EUR/ICP/CEH 108(A)

Anhänge

PSI-Vergleichsmessung 1995

Christoph Schuler, Paul Scherrer Institut, Abt. Strahlenhygiene

An der Vergleichsmessung 1995 vom 30. November bis 5. Dezember für Radongasdetektoren oder -messgeräte in der Radonkammer des PSI beteiligten sich insgesamt 11 Privatpersonen, Firmen oder Institutionen mit total 118 Detektoren und 4 Messgeräten.

Jeder Teilnehmer erhielt pro eingesandten Detektortyp eine Codenummer. Diese sowie Detektor- oder Messgerätyp sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Verwendete Detektoren und Messinstrumente

Code	Passive Detektoren	Code	Messgeräte
1	Elektret-Ionisationskammer	4	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor
2	Elektret-Ionisationskammer	7	Elektrostatische Sammlung/Halbleiterdetektor
3	Track Etch	11	Halbleiterdetektor
5	Track Etch		
6	Elektret-Ionisationskammer		
8	Elektret-Ionisationskammer		
9	Elektret-Ionisationskammer		
10	Track Etch		
12	Track Etch		
13	Elektret-Ionisationskammer		
14	Elektret-Ionisationskammer		

Einige Dosimeter wurden speziell markiert und nur während 4 Tagen, die übrigen während 5 Tagen exponiert.

Die Radonexposition betrug während der viertägigen bzw. fünftägigen Expositionsdauer 765 ± 38 kBqh/m³ bzw. 947 ± 52 kBqh/m³, was einer Konzentration in der Radonkammer von ca. 8000 Bq/m³ entspricht. Während der ganzen Expositionsdauer war die Rückführbarkeit der Referenzatmosphäre in der Radonkammer gewährleistet.

Nach der Exposition in der Radonkammer wurden die Detektoren für eine 24-stündige Ausgasungsphase ohne Verpackung im Vorbereitungsraum gelagert und anschliessend wieder in die Originalverpackungen verbracht. In radondichten Beuteln angelieferte Detektoren wurden nach der Ausgasungsphase wieder in die Originalbeutel eingeschweisst.

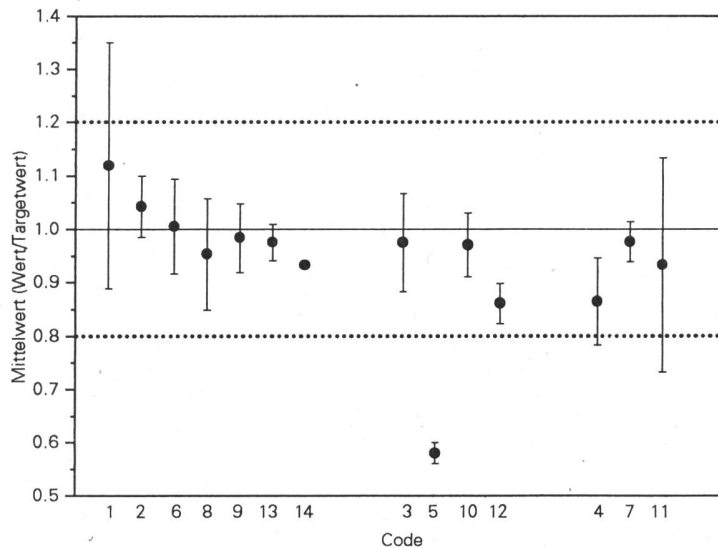
Alle Messgeräte wurden von den Teilnehmern persönlich vor Beginn der Exposition unter Assistenz des PSI in der Radonkammer installiert und in Betrieb genommen. Nach der fünftägigen Exposition wurden sie von denselben Personen wieder ausgeschaltet und aus der Radonkammer genommen.

Ergebnisse der Vergleichsmessung

Die Teilnehmer mussten die Resultate der Auswertung dem PSI mitteilen. Da die Teilnehmer nicht wussten, welche Detektoren 4 Tage exponiert worden waren, mussten diese Resultate vom PSI korrigiert werden.

Figur 10 zeigt die Zusammenfassung der Vergleichsmessung. Angegeben ist das Verhältnis von Messwert zu Targetwert (= Referenzwert), wobei für die Berechnung dieses Verhältnisses für die nur vier Tage exponierten Detektoren der vom PSI korrigierte Wert verwendet wurde. Pro Code ist der Mittelwert und die Standardabweichung aus den einzelnen Verhältnissen angegeben.

Gemäss Formular „Gesuch zur Anerkennung als Radonmessstelle“ des BAG ist die Rückführbarkeit von Messresultaten erfüllt, wenn das Resultat bei Teilnahme an einer Vergleichsmessung in der PSI-Radonkammer für mindestens zwei Expositionen nicht mehr als $\pm 15\%$ vom Referenzwert abweicht. In Figur 10 wurden deshalb zur Illustration dieser Grenzen bei $+ 20\%$ und bei $- 20\%$ Linien eingetragen. Resultate, welche im Bereich zwischen den Linien bei 1.2 und 0.8 liegen, erfüllen also das Rückführbarkeitskriterium.



Figur 10: Zusammenfassung der Vergleichsmessung 95

Automatisierte Bodengasmessung

Hans-Ueli Johner, Bundesamt für Gesundheit, Sektion Überwachung der Radioaktivität

Eine automatisierte Bodengasmessung soll in erster Linie eine präzisere Permeabilitätsmessung über einen grösseren Messbereich als mit unserem herkömmlichen System und in einem grösseren und somit repräsentativeren Bodenvolumen ermöglichen. Zusätzlich sollen durch die Automatisierung kontinuierliche Messungen ermöglicht und eine Zeiteinsparung bei der Permeabilitätsmessung und Bodengasentnahme erreicht werden.

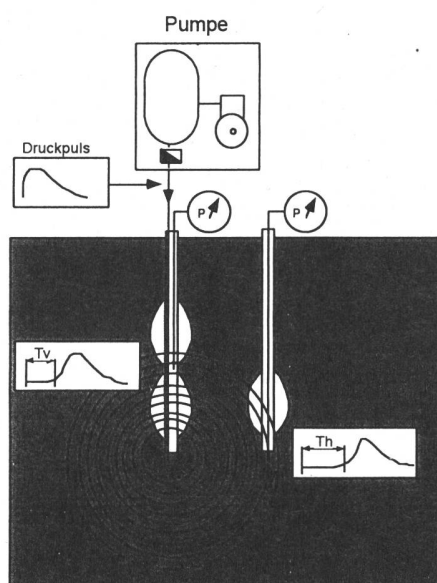
Durch das Bohren wird der Boden unmittelbar um das Bohrloch oft komprimiert. Die Methode der Zeitmessung bei Einpumpen eines definierten Volumens unter konstantem

Druck ist besonders auf die ersten Zentimeter um das Bohrloch empfindlich und dies führt somit zu einer scheinbar niedrigeren Permeabilität. Nebst der Automatisierung dieser Standardmethode soll getestet werden, ob und über welche Distanzen Drucklaufzeitmessungen möglich sind (Siehe Figur 11). Eine vertikale und eine horizontale Komponente der Permeabilität sollten bestimmbar sein.

Zusätzlich erlaubt eine neue Bohranlage Messungen in Tiefen grösser als 3m.

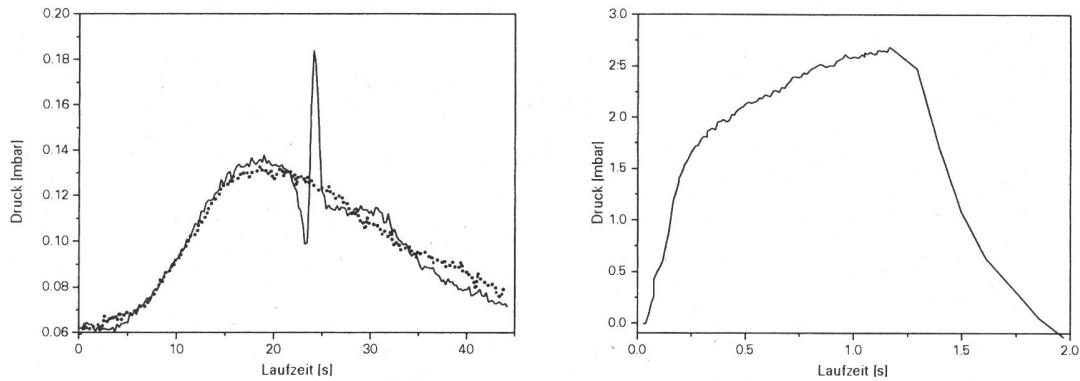
Beschreibung des Gerätes zur automatischen Bodengasmessung

Am Grunde eines Bohrloches wird durch eine Sonde mit Doppelpacker ein Druckpuls angelegt und zwischen den beiden Packern und (oder) in einer benachbarten Bohrung der Druckverlauf gemessen. Die Laufzeit des Druckpulses zwischen zwei Sonden oder Packern ist nun weniger empfindlich auf die erste Schicht um das Bohrloch und es können eine vertikale und eine horizontale Permeabilität bestimmt werden. Anhand der Amplitude und des zeitlichen Verlaufs der gemessenen Druckpulse sollte ein Mass für die Homogenität des Bodens ableitbar sein.



Figur 11: Schema der neuen Methode. Tv ist die vertikale Laufzeit, Th die horizontale.

Erste Versuche zeigten die Machbarkeit des Prinzips. In horizontaler Richtung konnten die Druckpulse einwandfrei bis auf 2 m Distanz nachgewiesen werden. Die Distanz sollte ohne weiteres auf 3-4 m vergrössert werden können, was sehr effiziente flächendeckende Messungen erlauben würde, wie sie z.B. für Baugrunduntersuchungen zu wünschen sind.

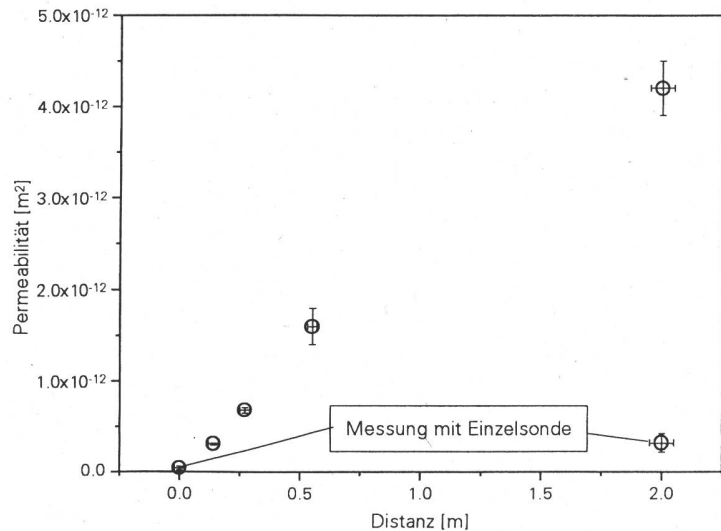


Figur 12: Laufzeitmessungen zwischen zwei Sonden in zwei Meter Distanz. Sie zeigen einmal Messungen in einem Boden geringer Permeabilität ($4 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$), wo die Laufzeit ca. 10 s beträgt und einem Boden mittlerer Permeabilität ($2 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$) mit einer Laufzeit von ca. 0.2 s. Die Spikes wurden durch einen vorbeifahrenden Lastwagen erzeugt. (Im linken Teil der Graphik sind zwei Pulse überlagert dargestellt).

Es zeigt sich, dass die Pulslaufzeiten um bis zu einem Faktor 20 höhere Permeabilitäten ergeben als das Einpumpen von Luft. Scheinbar folgt die eingeblasene Luft nach und nach den schnelleren Pfaden, wie Spalten, Löcher oder durchlässigeren Schichten. Diese Dimensionsabhängigkeit ist besonders wichtig, da ein Haus mit seiner Ausdehnung und der Unterfüllung ein grösseres Bodenvolumen erschliesst, als eine Einzelbohrung.

Figur 13:

Abhängigkeit der Permeabilität von der Distanz.



Zusammenfassung

Die neue Bohranlage und die Automatisierung der Bodengasmessungen erlauben eine beträchtliche Zeitersparnis, eine bessere Präzision und Messungen in bisher unzugänglicher Tiefe. Wie die Figuren 12 und 13 zeigen, haben die Tests der Laufzeitmessung erste Resultate erbracht. So könnte die Dimensionsabhängigkeit der Permeabilität neue Erkenntnisse für den Radontransport vom Boden in die Häuser erbringen.