

Zeitschrift: Bulletin für angewandte Geologie
Herausgeber: Schweizerische Vereinigung der Petroleum-Geologen und –Ingenieure;
Schweizerische Fachgruppe für Ingenieur-Geologie
Band: 10 (2005)
Heft: 1

Artikel: Schlussbericht des Radonmessprogramms im Kanton Bern, 1995-2004
Autor: Tobler, Daniel / Abrecht, Jürgen / Flisch, Markus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-225563>

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: 30.03.2025

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

Schlussbericht des Radonmessprogramms im Kanton Bern, 1995–2004

Daniel Tobler¹, Jürgen Abrecht¹, Markus Flisch², Urs Müller²

Stichworte: Kanton Bern, Strahlenschutz, Radon, Geologie, Risiko

Zusammenfassung

Aufgrund der schweizerischen Strahlenschutzverordnung sind die Kantone verpflichtet, Gebiete mit erhöhten Radonkonzentrationen auszuscheiden. Zwischen 1995 und 2004 wurde die durchschnittliche Radonkonzentration in allen 398 Gemeinden des Kantons Bern ermittelt. Gesamthaft wurden dabei rund 7'500 Häuser gemessen. Der grösste Teil der Gemeinden (60%) weist ein geringes Radonrisiko auf. Die höchsten Konzentrationen (hohes Radonrisiko) treten im Jura, in den Alpen (kristalline Gebiete) und im Oberaargau auf. Davon sind 30 Gemeinden betroffen. Mit der Vervollständigung des Radonkatasters verfügt der Kanton Bern nun über hinreichende Kenntnisse der Radonbelastung des bewohnten Gebietes.

Résumé

En vertu de l'ordonnance sur la radioprotection, les cantons sont tenus d'effectuer un relevé (d'établir un cadastre) des régions à concentrations accrues de gaz radon. Entre 1995 et 2004, les concentrations moyennes de radon ont été mesurées dans les 398 communes du canton de Berne. Ainsi, 7'500 maisons ont fait l'objet de mesures. La majeure partie des maisons (60%) présentent un risque de radon faible. Les plus hautes concentrations (risque de radon élevé) ont été mesurées dans le Jura, dans les Alpes (régions cristallines) et en Haute-Argovie. Trente communes sont concernées par ce phénomène. Le cadastre du radon est maintenant complet et le canton de Berne dispose de suffisamment d'informations concernant la charge en radon dans les zones habitées.

1. Einleitung

Radon ist ein radioaktives Edelgas und entsteht beim Zerfall von Radium in uranhaltigem Gestein. Es kann aus dem Untergrund durch undichte Stellen in die Häuser eindringen und in geschlossenen Räumen hohe Konzentrationen erreichen. Seine festen radioaktiven Zerfallsprodukte (Polonium, Blei, Wismuth) bestrahlen und schädigen die Bronchien und das empfindliche menschliche Lungengewebe. Das Risiko der Bildung eines Lungenkrebses wird erhöht (BAG 1999).

Die Rechtslage betreffend Radon wird in der schweizerischen Strahlenschutzverordnung (StSV) geregelt. In der StSV vom 22.6.1994,

welche sich auf Art. 47 Absatz 1 des Strahlenschutzgesetzes (StSG) vom 22.3.1991 stützt, sind die Kantone zu einer Reihe von Massnahmen verpflichtet. Unter anderem müssen sie dafür sorgen, dass auf ihrem Gebiet genügend Radon-Messungen durchgeführt und Gebiete mit erhöhten Radonkonzentrationen ausgeschieden werden können. Folgende Grenz- bzw. Richtwerte sind festgelegt (Art. 110):

Abs. 1 Für Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen gilt ein über ein Jahr gemittelter Grenzwert von 1000 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³).

Abs. 4 Bei Neu- und Umbauten sowie bei Sanierungen gilt ein Richtwert von 400 Bq/m³, soweit dies mit einfachen baulichen Massnahmen erreicht werden kann.

¹ GEOTEST AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen; zollikofen@geotest.ch

² Kantonales Laboratorium, Muesmattstrasse 19, 3012 Bern; sekr.kantlab@gef.be.ch

Im Kanton Bern wurde das Kantonale Laboratorium mit dem Vollzug der StSV beauftragt. Im Zeitraum zwischen 1995 und 2004 wurden systematisch alle Gemeinden des Kantons mit genügend Messungen erfasst.

2. Radon

2.1 Geschichtliches

Bereits im 16. Jahrhundert wurde die gesundheitsschädigende Wirkung des Radons – obwohl selbst als chemisches Element noch unbekannt – bemerkt: In Schneeberg im Erzgebirge wurde eine ungewöhnlich hohe Anzahl schwerer, meist tödlich verlaufender Lungenerkrankungen unter häufig noch sehr jungen Bergarbeitern beobachtet (Schüttmann 1988, Ludewig et al. 1924). Die sogenannte «Schneeberger Bergkrankheit» beschäftigte die Wissenschaft bis ins 20. Jahrhundert. Gleiches wurde im frühen 17. Jahrhundert bei Minenarbeitern in St. Joachimsthal in Böhmen festgestellt (Behounek 1927). In beiden Bergbaurevieren wurden zunächst Blei-, Kupfer- und Silbererze und im 20. Jahrhundert Pechblende zur Radium- und Urange Gewinnung abgebaut. Die Schneeberger Bergkrankheit wurde lange Zeit sehr unterschiedlich diagnostiziert, ehe sie zwei deutsche Ärzte Ende des 19. Jahrhunderts als Lungenkrebs erkannten. Ihre Ursache blieb jedoch weiterhin unklar. Erst mit der Entdeckung der Radioaktivität durch Henri Becquerel und des Radiums im Jahr 1898 durch das Ehepaar Curie wurden neue mögliche Ursachen gefunden. In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts konnte die Herkunft des Radon aus Böden und Gesteinen nachgewiesen werden.

1936 erkannte man, dass der Schneeberger Lungenkrebs durch das Einatmen des Edelgases Radon verursacht wird. Seither wurden mehrere Untersuchungen und Studien über Radon und Lungenkrebs in Bergbaubereichen durchgeführt (Czarwinski et al. 1991). Seit den achtziger Jahren wird der Zusam-

menhang zwischen Radongas-Konzentration in Wohnräumen und dem Lungenkrebsrisiko sehr ausführlich untersucht (Medici et al. 1992, BAG 2003). Die Erkenntnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Radon verursacht im Mittel etwa 40% der jährlichen Strahlenbelastung der Wohnbevölkerung in der Schweiz. Es wird geschätzt, dass etwa 10% der Lungenkrebserkrankungen durch Radon verursacht werden. Damit ist die Radonbelastung neben dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs.
- Radon dringt hauptsächlich vom Untergrund her in die Häuser ein. Der Beitrag durch Baumaterialien und Wasser spielt eine untergeordnete bis vernachlässigbare Rolle.
- Die im Boden produzierte Radon-Menge hängt von dessen Radiumgehalt ab. Hohe Radiumkonzentrationen bewirken aber nicht notwendigerweise ein hohes Radon-Risiko. Das produzierte Radon muss zusätzlich mobil sein.
- Bei einem geschlossenen Gebäude führt die Temperaturdifferenz zwischen Innen und Aussen zu einem leichten Unterdruck im Haus, wodurch radonhaltige Luft vom Untergrund her ins Haus gesogen wird.
- Die Radon-Konzentration nimmt von Stockwerk zu Stockwerk (d.h. von unten nach oben) ab.

Mit der Einführung der Strahlenschutz-Verordnung im Jahre 1994 wurden die Grenz- und Richtwerte (siehe Kap. 1) in der Schweiz definiert. Verschiedene weltweit angelegte, epidemiologische Fallkontrollstudien zum Thema Radon zeigen, dass das statistisch signifikante Lungenkrebsrisiko bei Radonkonzentrationen ab 150 Bq/m³ nachweisbar ist (Krewski et al. 2005, BUNR 2004, WHO 1996, Lubin et al. 1994). Von laufenden Studien erhofft man sich Aufschluss darüber, ob und wie neben Lungenkrebs auch andere Tumortypen durch Radon ausgelöst werden könnten (Kreienbrock 2003). Die Arbeiten werden allerdings noch mehrere Jahre andauern, bis gut fundierte Ergebnisse vorliegen.

2.2 Geologie

Die Radonaktivität in den Gebäuden hängt von geologischen Faktoren ab. Die zwei Hauptfaktoren sind in der Radiumkonzentration im Untergrund und in der Durchlässigkeit des Untergrundes im näheren Gebäudeumfeld zu suchen (Böhm 2003 und 2005 – in diesem Heft –, Ball et al. 1991, Tanner 1980).

Die Radiumkonzentration wird durch die Urankonzentration des Ausgangsgesteins, die An- resp. Abreicherungsvorgänge während des radioaktiven Zerfalles, die Radiumkonzentration des Untergrundes sowie die Radonemanation bestimmt (Gilliéron 1988). Erhöhte Uran-, Radium- und Radongehalte sind, wie verschiedene Untersuchungen zeigen, vor allem an Kristallgebiete und den Jura gebunden. Hohe Gehalte sind dabei vor allem in den Alpen und Südalpen, in Gebieten mit granitischen Gesteinen und in Gebieten mit Verrucano anzutreffen (siehe Fig. 1). Die erhöhten Konzentrationen im Jura sind nicht zuletzt auf die erleichterte Zirkulation von Fluiden und Gasen im geklüfteten und verkarsteten Untergrund zurückzuführen.

Das Mittelland ist von mächtigen Sediment- und Lockergesteinsablagerungen geprägt, welche lokal kristalline, radiumhaltige Gesteinskomponenten enthalten. Im Allgemeinen sind aber die Radiumgehalte in diesen Gebieten deutlich geringer als in den Alpen oder im Jura.

Die Durchlässigkeit des Untergrundes wird durch den Verwitterungsgrad der Gesteinspartikel, den Porenraum in Lockergesteinen und Fels (Klüftung, Karst) sowie den Wassergehalt des Bodens bestimmt. Für die Radonfreisetzung spielt die Porosität die entscheidende Rolle; je stärker verwittert ein Mineral- oder Gesteinskorn ist, desto mehr zerfallen des Radon kann freigesetzt werden. Die Luftdurchlässigkeit des Bodens bestimmt, wie weit das anfallende Radon transportiert werden kann. Je grösser die Durchlässigkeit, desto mehr Radon wird transportiert und mehr radonhaltige Luft kann in ein Gebäude dringen.

Nebst der Durchlässigkeit des Untergrundes spielt die Existenz einer Deckschicht eine wichtige Rolle. Eine feinkörnige Deckschicht ist oft feuchter als der tiefere Untergrund. Die Poren sind teilweise oder ganz mit Wasser gefüllt, sodass der Luftaustausch zwischen Atmosphäre und Untergrund behindert wird. Das Radon sammelt sich unter der Deckschicht an und tritt nur lokal an Spalten etc. aus. Diese Situation ist für Karstgebiete wie den Jura typisch.

Die durchschnittliche Radongas-Konzentration in Gebäuden liegt bei etwa 60 Bq/m³. In einzelnen Gebäuden wurden aber Spitzenwerte von über 10'000 Bq/m³ gemessen.

Im Kanton Bern lassen sich aufgrund der beiden geologisch bedingten Hauptfaktoren die wahrscheinlichen Gebiete mit hohen Radongehalten ausscheiden. Während kristalliner Felsuntergrund vor allem im Berner Oberland zwischen Meiringen und Susten- resp. Grimselpass vorgefunden wird, treten Karstphänomene vor allem im Jura (nördlich des Bielersees) und vereinzelt auch im Hohgantgebiet auf. Im Mittelland können in Gebieten mit guter Permeabilität der Schotter ebenfalls lokal hohe Konzentrationen auftreten.

3. Methodik

3.1 Messungen und Auswertungen

Der Kanton Bern umfasst 398 Gemeinden, welche allesamt mit Messgeräten ausgerüstet wurden. Für eine aussagekräftige Klassierung der Gemeinden verlangt das BAG, dass die Anzahl der zu messenden Häuser pro Gemeinde mindestens der Wurzel aus der Zahl der gesamthaft vorhandenen Häuser entspricht. Dies betrifft vor allem die kleineren Gemeinden. Ansonsten wurden normalerweise in 20 Häusern Messungen durchgeführt; in Ballungszentren wie Thun oder Bern konnten bis zu 100 Objekte erfasst werden. Die Resultate wurden sowohl den Hausbewohnern als auch den Gemeindebehörden mitgeteilt. In den Gemeinden mit hohem und

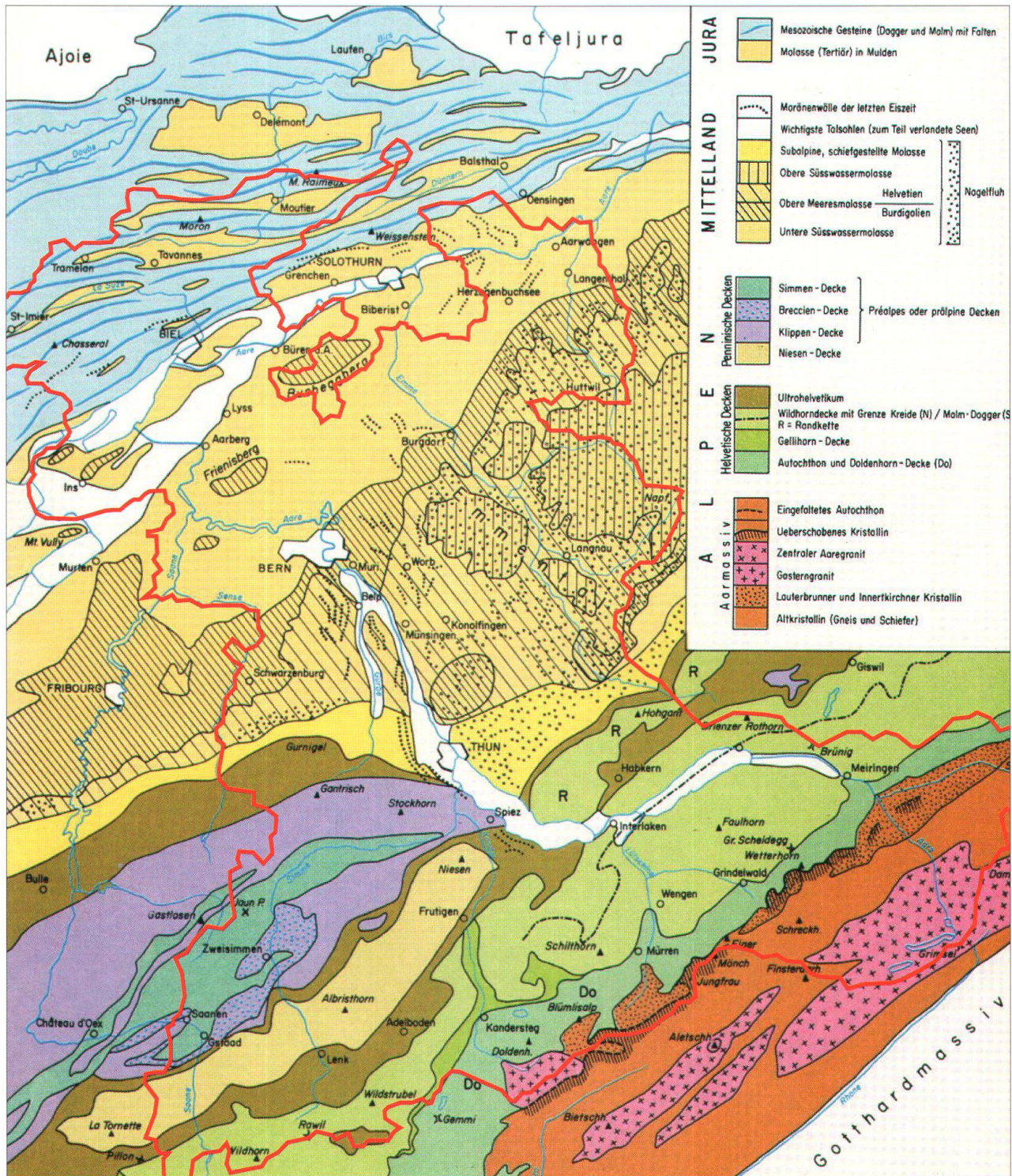


Fig. 1: Geologisch-tektonische Karte des Kantons Bern (Brüllhardt et al. 1981) mit Kantonsgrenze. Die Radonproblematik ist vor allem an die uranhaltigen Gesteine des Kristallins (Aarmassiv) und die durchlässigen Bereiche des Juras (Karst) gekoppelt.

mittlerem Radonrisiko wurden zusätzlich je ca. 50 Schulen und Neubauten gemessen. Während 9 Jahren wurde während der Wintermonate eine bestimmte Anzahl Gemeinden erfasst. Bei der Auswahl der Gemeinden wurden neben geographischen vor allem auch geologische Kriterien angewendet. Dazu wurden die Gemeinden in 6 Zonen eingeteilt: Jura, Seeland/Jurasüdfuss, Mittelland (Molasse, glaziale Ablagerungen), Voralpen/Kalkalpen und Alpen. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass in jeder Kampagne Gemeinden aus allen Kantonsteilen erfasst wurden. Mit dieser Strategie konnten bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt generelle Aussagen über die Radonverteilung im ganzen Kanton gemacht werden.

Für die Durchführung der Messungen konnte zu Beginn des Messprogramms auf die Mithilfe von Gemeindeangestellten zurückgegriffen werden; später wurden die lokalen Zivilschutzstellen mit den aufwändigen Aufgaben der Geräteverteilung und der Erfassung von Grundlagedaten in einem Fragebogen beauftragt. Nach Ablauf einer 3monatigen Messperiode wurden die Geräte eingesammelt und ausgewertet. Die Auswertung beinhaltet die Berechnung von Jahresmittelwerten anhand der vom BAG zur Verfügung gestellten Datenbank. Weiter konnte für jede Gemeinde aus sämtlichen brauchbaren Einzelmessungen, getrennt nach bewohnten und unbewohnten Räumen, der Gemeindemittelwert bestimmt werden. Nach Abschluss aller Kampagnen wurden anhand der Informationen in den Fragebögen nebst den Auswertungen von Standort und Expositionszeit auch Analysen der Haustypen und der Fundamente durchgeführt.

3.2 Beurteilungsgrundlage für die Klassierung der Gemeinden

Für die Klassierung einer Gemeinde bezüglich der Radongaskonzentration auf ihrem Gebiet wird gemäss der Einteilung des BAG verfahren. Das BAG verwendet eine Klassierung, welche sich auf das *arithmetische*

Mittel der Radongaskonzentrationen in bewohnten Räumen stützt. Es wird die in Tabelle 1 dargestellte Unterteilung des «Radonrisikos» verwendet.

Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]	Radonrisiko
100	klein
100–200	mittel
200	gross

Tab. 1: Kriterien zur Bestimmung des Radonrisikos in Gemeinden gemäss BAG.

Für die Entscheidung, inwiefern Sanierungen einzelner Gebäude notwendig sind, ist der Richtwert (400 Bq/m³) oder der Grenzwert (1000 Bq/m³) in bewohnten Räumen massgeblich. Aus Tabelle 2 wird ersichtlich, wann bauliche Massnahmen resp. Sanierungen erforderlich sind.

4. Resultate

Unter Berücksichtigung der verlorenen Geräte und der unbrauchbaren Messungen (geöffnete Dosimeter) konnten gesamthaft rund 14'500 Messungen aus ca. 7'500 Häusern ausgewertet werden. Dies entspricht gut 95% der ausgelieferten Dosimeter. Die Klassierung der Gemeinden erfolgte auf der Basis der Beurteilungsgrundlage des BAG. Die Situation im Kanton Bern präsentiert sich wie folgt (siehe auch Fig. 2):

4.1 Regionale Resultate

Die Darstellung der klassierten Gemeinden und der Radonbelastung in den einzelnen Gemeinden zeigt, dass die höchsten Radonkonzentrationen einerseits im Jura, andererseits in den Alpen auftreten (Fig. 2). Allerdings zeigen nur diejenigen alpinen Gemein-

Mittlere Radonkonzentration		hohes Radonrisiko	mittleres Radonrisiko	geringes Radonrisiko
		200 Bq/m ³	100–200 Bq/m ³	100 Bq/m ³
bestehende Bauten	Übliche Benutzung von Wohn- und Aufenthaltsräumen	- Messung notwendig	- Messung empfohlen	- Messung kann durchgeführt werden
	Umnutzung von Kellerräumen in Wohn- und Aufenthaltsräume	- Messung vor Planungsarbeiten notwendig - Bauliche Massnahmen treffen - Kontrollmessungen	- Messung in betroffenen Räumen vor Planungsarbeiten empfohlen - Allfällige baul. Massnahmen treffen - nach Realisierung Kontrollmessungen empfohlen	
	Renovation von Wohnräumen	- Vor Renovationsarbeiten Messung notwendig - Allfällige bauliche Massnahmen treffen	- Messung vor Renovation empfohlen - Allfällige bauliche Massnahmen treffen	
	Handänderungen bei Liegenschaften	- Messung vor oder nach Handänderung empfohlen. - Allfälliger Artikel zu Radon im Kaufvertrag empfohlen		- Messung vor oder nach Handänderung
Neubauten	Planung und Ausführung	- Stand der Technik mit präventiven Massnahmen - SIA-180, Ziff. 3.1.4 - Kontrollmessung nach Fertigstellung empfohlen	- Stand der Technik - SIA-180, Ziff. 3.1.4	- Stand der Technik

Tab. 2: Kriterien für bauliche Massnahmen (BAG 2004).

Anzahl gemessene Gemeinden		398	
Anzahl Gemeinden mit Mittelwert:			
100 Bq/m³	(geringes Radonrisiko)	237	60%
100–200 Bq/m³	(mittleres Radonrisiko)	131	33%
200 Bq/m³	(hohes Radonrisiko)	30	7%
Anzahl gemessene Häuser		7'328	
Anzahl Häuser mit Richtwertüberschreitung		155	2,1%
Anzahl Häuser mit Grenzwertüberschreitung		35	0,5%

Tab. 3: Zusammenfassung der Resultate der Radonmessungen im Kanton Bern.

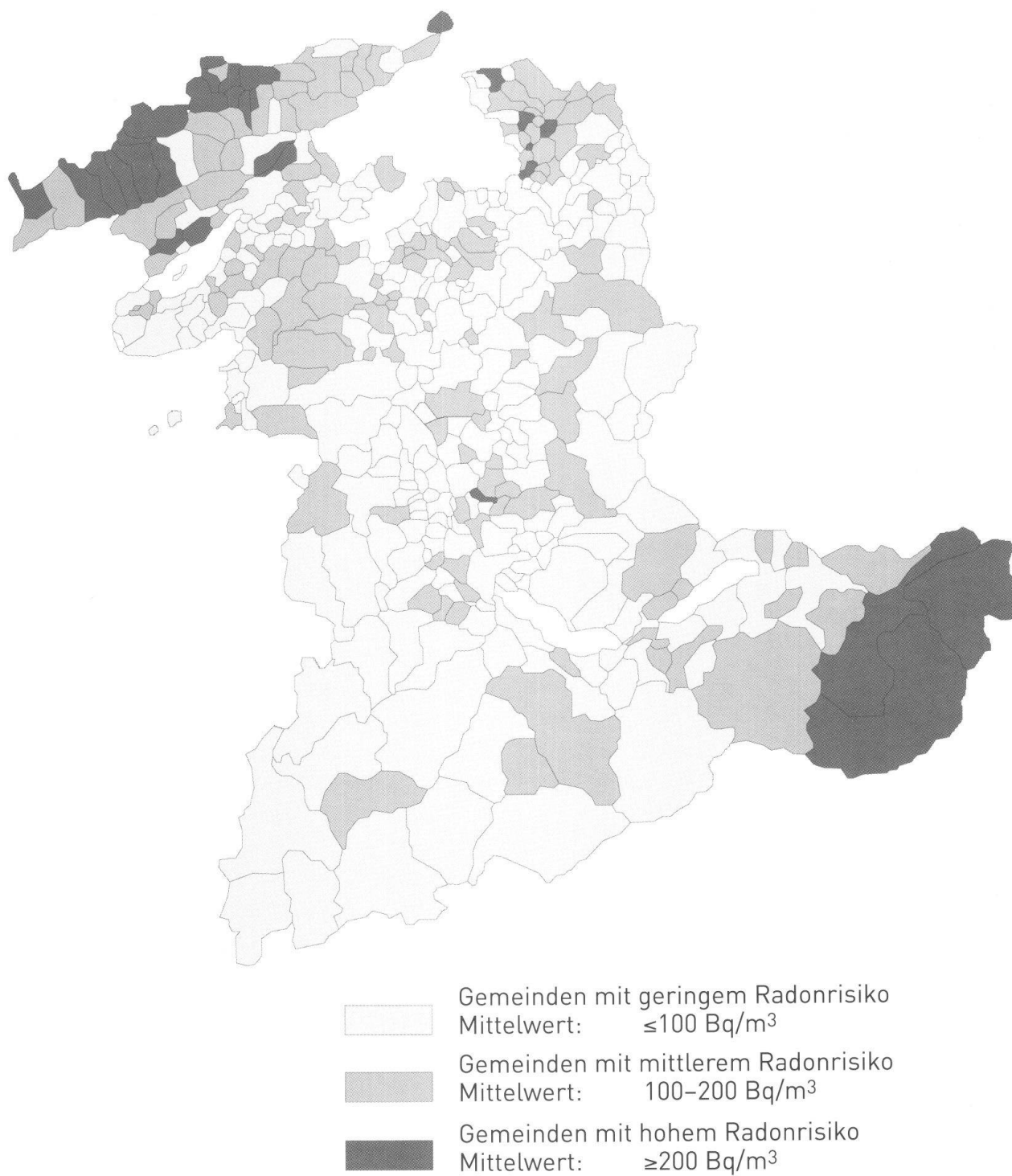


Fig. 2: Die Klassierung der Gemeinden aufgrund der Jahresmittelwerte in bewohnten Räumen.

den eine erhöhte Radonbelastung, welche auf kristallinem Untergrund (Granit, Gneise) stehen, nicht aber die Gemeinden der «Kalkalpen» (Simmental, Kandertal).

Auffällig sind auch einige Gemeinden aus dem Mittelland (Ob- und Nid aargau), welche im Vergleich zu den meisten erfassten Gemeinden dieser Region eine signifikant erhöhte Belastung aufweisen.

4.1.1 Jura

Der Berner Jura ist ein von Antiklinalen und Synklinalen geprägter Gebirgszug nördlich von Biel und begrenzt in einem nach Osten offenen Bogen das Mittelland. Sein Ostteil wird durch den Kettenjura gebildet, bestehend aus langgestreckten, stark gefalteten Höhenzügen mit Erhebungen bis über 1500 m ü. M., sein Westteil durch den Tafeljura, eine wasserarme Hochfläche. Das vorwiegend aus Karbonatgesteinen bestehende Gebirge ist stark geklüftet und verkarstet. Eingeschwemmte lehmige Sedimentablagerungen wie auch die gute Durchlässigkeit des Untergrundes sind für die hohen Radonkonzentrationen verantwortlich.

Die Gemeinden des Juras weisen generell hohe Radonkonzentrationen auf; 21 der 30 Gemeinden mit hohen Radonkonzentrationen liegen im Jura. Die Gemeinden mit hohem Radonrisiko liegen generell auf verkarstem Untergrund. In einigen Fällen sind aber auch Störungszonen für erhöhte Konzentrationen verantwortlich. Dies trifft z.B. für die Gemeinde Court zu.

In Anbetracht der vielen Gemeinden mit hohem Radonrisiko scheint eine Betrachtung der Gemeinden mit geringem Radonrisiko (Bévilard, Corcelles, Corgémont, Lamboing, Ligerz, Péry, Roches) umso interessanter. Corcelles, Roches und Lamboing liegen grösstenteils auf relativ mächtigen quartären Lockergesteinen (Grundmoräne) die aufgrund ihrer Zusammensetzung eine abdichtende Wirkung haben. Die Gemeinden Bévilard, Péry, Corgémont und Ligerz liegen auf Molassefelsen. Dieser zeigt im Vergleich

zum stark verkarsteten Kalk lediglich eine geringe Durchlässigkeit.

Die Gemeinde St. Imier widerspiegelt diesen Sachverhalt in exemplarischer Weise. Das Gemeindegebiet von St. Imier erstreckt sich vom Talboden bis hinauf zum Hochplateau des Mont Soleil. Der Talboden liegt in der Molasse, die Hochebene in stark geklüfteten und verkarsteten Kalken. Die Radonkonzentrationen der gemessenen Häuser im Talboden sind generell gering, diejenigen auf dem Hochplateau generell hoch.

4.1.2 Alpen und Kalkalpen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Messungen in den kristallinen Gebieten, den Kalkalpen und dem Vorland erläutert. Der hier interessierende Teil der Alpen umfasst die Region südlich des «Kirchtrüegels» (Innertkirchen bis Grimsel- und Sustenpass) und besteht aus den kristallinen Anteilen des Aarmassivs, welche hohe Anteile an Mineralien mit radioaktiven Elementen enthalten. Charakteristisch ist die grösstenteils geringe Lockergesteinsbedeckung.

Die Kalkalpen beinhalten die aus Sedimentgesteinen aufgebauten Gebirgsketten des Helvetikums und Penninikums zwischen Thunersee und den kristallinen Alpen. Dazu gehören z.B. Stockhornkette und Hohgant. Störungszonen im geologischen Untergrund spielen vermutlich im Hinblick auf die Radonproblematik in diesen Gebieten eine wichtige Rolle. Entlang der stark beanspruchten und geklüfteten Zonen kann Radon an die Erdoberfläche gelangen.

Gemeinden mit hohem Radonrisiko

Die Gemeinden mit hohen Radonkonzentrationen liegen alle auf kristallinem Untergrund. Es sind dies Gadmen, Guttannen und Innertkirchen. In den Talebenen liegen die Siedlungen z.T. auf mächtigen Lockergesteinsablagerungen. Die Ablagerungen setzen sich hauptsächlich aus kristallinen Materialien zusammen. An den Talhängen,

wo einzelne Gebäude gemessen wurden, ist der Felsuntergrund untief anstehend. Eine abschirmende Lockergesteinsschicht zwischen Fundament und Fels fehlt vielerorts. Das aus dem Felsuntergrund austretende Radon kann direkt in die Häuser gelangen.

Gemeinden mit geringem und mittlerem Radonrisiko

Die Gemeinden in den Kalkalpen zeigen generell tiefe Radonkonzentrationen. Der aus Sedimenten bestehende Untergrund weist kaum radioaktive Komponenten auf. In Gebieten mit glazialen Ablagerungen (Moränen des Aaregletschers) oder Störungszonen sind jedoch leicht erhöhte Jahresmittelwerte (mittleres Radonrisiko) vorhanden. In der Folge werden die Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko diskutiert.

Die Gemeinde Habkern liegt auf der N–S verlaufenden Hohgant-Sundlauen-Verwerfung. Die Lockergesteinsbedeckung besteht in diesem Gebiet entweder aus grobblockigem Gehängeschutt, mit vielen «Hohlräumen» oder aus mächtigen Moränen des Aaregletschers.

Die geologische Störzone streicht südlich des Thunersees durch die Gemeinden Krattigen und Reichenbach. Im Gebiet Frutigen und Kandergrund gliedert sie sich in mehrere kleine Störzonen auf. Zudem verläuft entlang des Frutigtales ein bekannter Gipshorizont, welcher für seine gute Durchlässigkeit bekannt ist. Radon aus dem Kristallin kann so durch die geklüfteten, durchlässigen Zonen einfach an die Oberfläche gelangen. Vermutlich können die mittleren Konzentrationen dieser Gemeinden auf diese Weise erklärt werden.

Schattenhalb und Hasliberg liegen auf der linken und rechten Talseite oberhalb von Meiringen. Die Standorte der gemessenen Häuser liegen grösstenteils auf Moränenuntergrund des Aaregletschers mit vorwiegend kristallinen Komponenten.

Die Gemeinden des Lütchinetales (Grindelwald, Gündlischwand, Gsteigwiler und Mat-

ten bei Interlaken) weisen ebenfalls mittlere Radonkonzentrationen auf. Die erhöhten Werte liegen bei Grindelwald über die gesamte Gemeinde verstreut, bei Gündlischwand und Matten in der Talebene und bei Gsteigwiler auf der kleinen Talschulter. Die Ursachen für die leicht erhöhten Werte sind in den Moränenablagerungen des Unteren Grindelwaldgletschers und möglicherweise auch im erzhaltigen Gestein des autochthonen Sedimentmantels des Aarmassives (Bohnerzhorizonte = Kondensationshorizonte) zu suchen.

4.1.3 Mittelland

Im Mittelland, zwischen Jura und Alpen gelegen, wird das Landschaftsbild von glazial geprägten Formen dominiert. Aufgrund der allgemeinen geologischen Verhältnisse (Molasse) sind grundsätzlich geringe Radonkonzentrationen zu erwarten. Die bekannten, z.T. uranhaltigen Schieferkohlevorkommen im Emmental, markante geologische Störungszonen und die glaziale Überprägung (Seitenmoränen und mächtige Schotterablagerungen) verursachen an verschiedenen Orten mittlere bis sogar hohe Radonkonzentrationen (Herbligen).

Gemeinden mit hohem Radonrisiko

Im Mittelland weist einzig die Gemeinde Herbligen hohe Radonkonzentrationen auf. Dies könnte mit der wichtigen geologischen Noflen-Störung mit erhöhtem Radongastransport entlang des geklüfteten Untergrundes zusammenhängen. Die Störung verläuft in ost–westlicher Richtung durch die Gemeinden Buchholterberg, Aeschlen, Herbligen bis nach Riggisberg. Je nach quartärer Überdeckung kann die Durchlässigkeit zur Oberfläche hin gehemmt sein (Grundwasserstauer), was erklären würde, warum nicht alle Gemeinden im Einflussbereich der Störzone hohe Radonkonzentrationen aufweisen.

Gemeinden mit geringem und mittlerem Radonrisiko

Eine Betrachtung der Gemeinden mit mittleren Radonkonzentrationen im Mittelland zeigt eine Häufung im Thuner Westamt, im Gebiet Frienisberg und im Oberaargau (siehe Kapitel 4.1.4). Zudem weisen einzelne Gemeinden im Emmental und etliche in der Ost–West-Achse der Noflen-Störung ebenfalls mittlere Konzentrationen auf (vgl. Gemeinden mit hohem Radonrisiko).

Die Gemeinden westlich des Thunersees (Thuner Westamt), die Gemeinden des Frienisbergs sowie einzelne Gemeinden im Emmental (Sumiswald, Lützelflüh etc.) sind auf mächtigen glazialen Ablagerungen situiert. Geomorphologische Formen, wie Drumlins oder Moränenwälle sowie Findlinge prägen das Landschaftsbild. Die glazialen Schotter weisen viele kristalline Komponenten auf, die für die erhöhten Konzentrationen verantwortlich sein könnten. Im Emmental bilden zudem die kristallinen Komponenten der überall vorhandenen Nagelfluh weitere Radonquellen.

4.1.4 Region Herzogenbuchsee und Jurasüdfuss

Das Gebiet rund um Herzogenbuchsee und am Jurasüdfuss wird durch die quartären Ablagerungen des Rhonegletschers (Endstadium) dominiert. Ein Vergleich mit den geomorphologischen Untersuchungen von Antenen (1936) am Jurasüdfuss zeigt eine erstaunlich gute Übereinstimmung von Gemeinden mit mittleren oder gar hohen Radonrisiken und Gebieten mit Schotterbedeckungen. Die Gemeinden, welche auf den Rückzugsschottern des Gletschers liegen (Sutz, Safnern, Pieterlen, Lengnau) oder auf mächtigen, jungen Alluvialschottern (Aegeren, Brügg und Schwadernau) weisen alle mittlere Radonkonzentrationen auf.

In der Region Herzogenbuchsee sind die Verhältnisse ähnlich. Die Gemeinden mit hohem Radonpotential (Herzogenbuchsee Ober-

önz, Walliswil b.W., Graben und Wanzwil) liegen alle auf quartären Rückzugsschottern. Diese führen offenbar kristalline Gesteine mit erhöhter Radioaktivität. So zeigen die Messungen in den Häusern im Talboden auf den Schottern hohe, und jene auf den Anhöhen (Molasse) nur geringe Radonkonzentrationen.

4.2 Resultate der Gemeinden: Jahresmittelwerte

4.2.1 Vergleich von bewohnten und unbewohnten Räumen

Es besteht ein theoretischer linearer Zusammenhang zwischen den Radongehalten in Kellerräumen und jenen in höheren Stockwerken, da das Radon aus dem Untergrund via Kellerräume in die übrigen Hausbereiche eindringt (Buchli et al. 1989). So sollte die Radonkonzentration im Gebäude theoretisch von Stockwerk zu Stockwerk abnehmen. Der Vergleich der Gemeindemittelwerte von bewohnten Räumen (hauptsächlich Erdgeschoss) und unbewohnten Räumen (grösstenteils Keller) bestätigt diese Abhängigkeit (Fig. 3). Die Mittelwerte der unbewohnten Räume sind generell höher als diejenigen der bewohnten.

Die Beziehung zwischen den entsprechenden Radonwerten wird sehr oft empfindlich gestört, zum Beispiel durch bauliche Eigenheiten, die Lüftungssituation, heterogenen Untergrund etc.. Dies dürfte gerade bei Gemeinden mit stark unterschiedlichen Haustypen und – weniger ausgeprägt – heterogenem geologischem Untergrund der Fall sein. Als Beispiel dient die Gemeinde Schelten. Hier liegen die Mittelwerte aus bewohnten Räumen deutlich höher als diejenigen aus unbewohnten Räumen. Die Ursache dafür ist wohl in der jurassischen Bauweise zu suchen. Die Häuser weisen nur sehr selten ein Kellergeschoss auf; bewohnte und unbewohnte Räume sind im Erdgeschoss nebeneinander zu finden. Bei Hanglagen

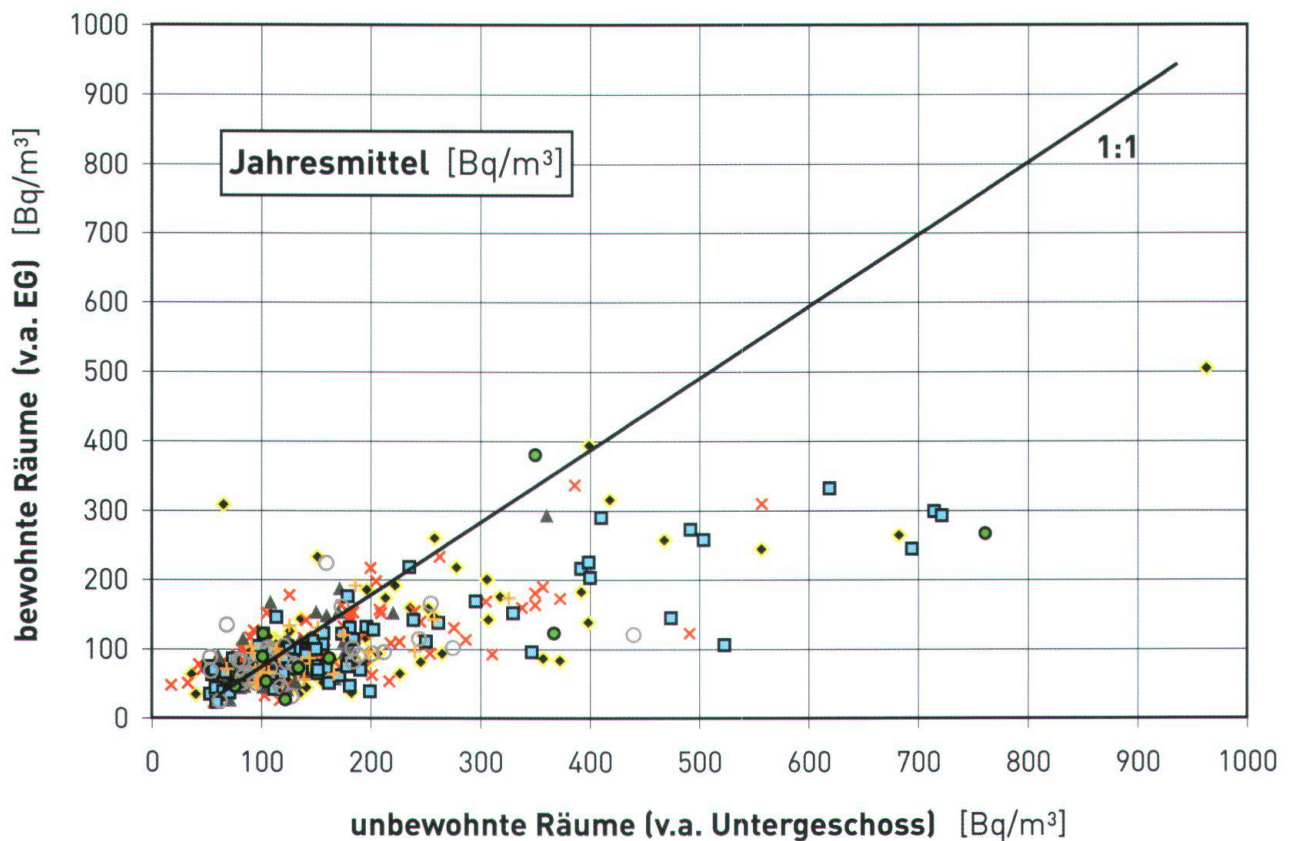


Fig. 3: Darstellung der Gemeindemittelwerte von bewohnten Räumen gegenüber den unbewohnten Räumen. Die unterschiedlichen Signaturen entsprechen den 9 Messkampagnen, welche zwischen 1995 und 2005 im Kanton Bern durchgeführt wurden.

sind die Häuser zudem oft in den felsigen Untergrund hineingebaut. Hohe Radonkonzentrationen in den Wohnräumen sind die Folge.

Im Weiteren wurden die Messungen der bewohnten und unbewohnten Räume der Gemeindegruppen mit geringem-, mittlerem und hohem Radonrisiko einander gegenübergestellt. Die Resultate der Analysen sind in den Figuren 4 bis 6 grafisch dargestellt.

Werden die grafischen Auswertungen der klassierten Gemeinden verglichen, wird der Unterschied der Messungen zwischen den einzelnen Klassen aber auch zwischen bewohnten und unbewohnten Räumen deutlich. Klar sichtbar sind die jeweils höheren Werte in den unbewohnten Räumen. Diese Tendenz zeigt sich ebenfalls in Figur 7, wo die Anzahl Messwerte gegen die Bereichsklassen (jeweils 20 Bq/m³ umfassend) aufgetragen sind.

Deutlich zeigt sich hier bei unbewohnten Räumen die Verschiebung des Maximums gegen höhere Konzentrationen. Die Darstellung verdeutlicht zudem, dass die Einteilung der Radonpotenzialklassen mit der Grenze 100 Bq/m³ diskutabel ist. Um 100 Bq/m³ besteht eine Häufung der Mittelwerte.

In den Gemeinden mit geringem Radonrisiko (Fig. 4a und b) liegt bei den bewohnten Räumen in 80% der Fälle eine Radonkonzentration von unter 100 Bq/m³ vor. In lediglich 2 Häusern wurde eine Grenzwertüberschreitung registriert. Häuser mit erhöhten Radonkonzentrationen (Grenzwert oder Richtwertüberschreitungen) treten in den Gemeinden mit geringem Radonrisiko nur zu 0,5% auf. Bei den unbewohnten Räumen zeigt sich ein ähnliches Verteilungsmuster, mit dem Unterschied, dass die hohen Konzentrationsbereiche leicht mehr Werte aufweisen. Bei den Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko (Fig. 5a und b) ändert sich das Verteilungsmuster

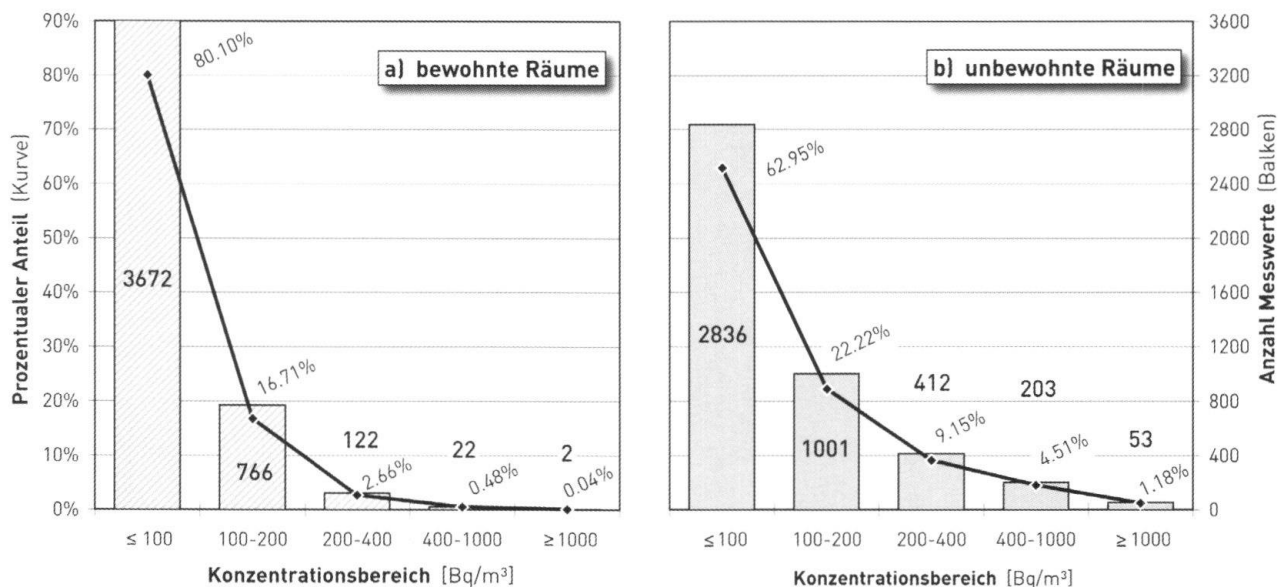


Fig. 4: Konzentrationsbereiche in a) bewohnten (links) sowie b) unbewohnten Räumen (rechts) der Gemeinden mit **geringem Radonrisiko**. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich (Balken) und der prozentualen Anteile (Kurve).

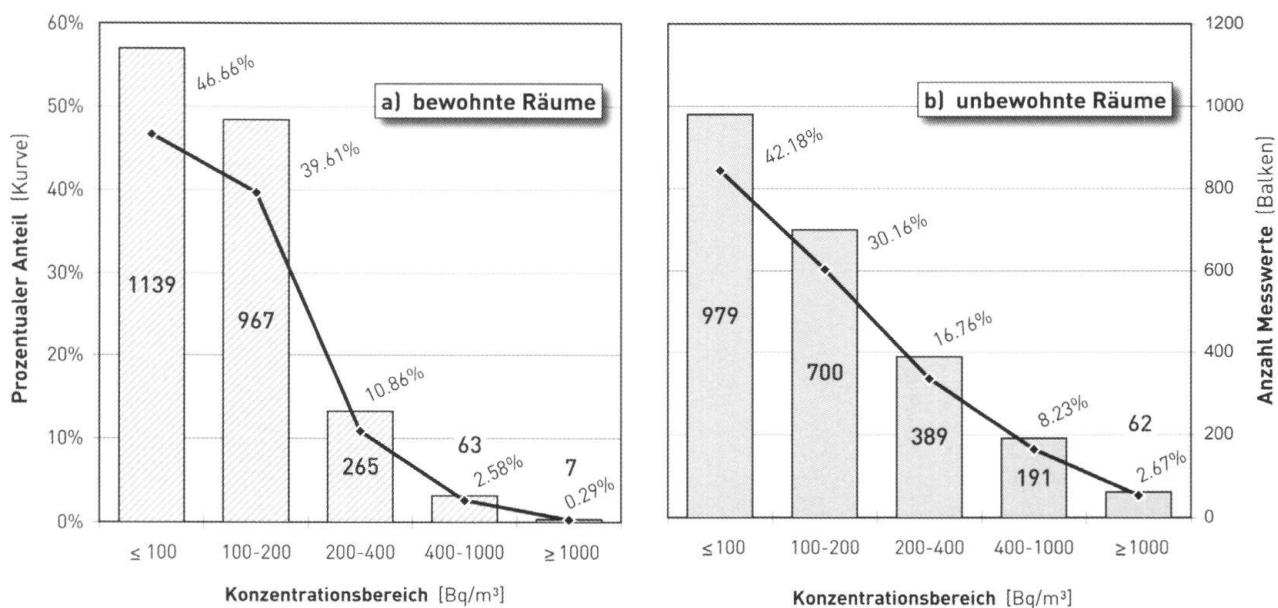


Fig. 5: Konzentrationsbereiche in a) bewohnten (links) sowie b) unbewohnten Räumen (rechts) der Gemeinden mit **mittlerem Radonrisiko**. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich (Balken) und der prozentualen Anteile (Kurve).

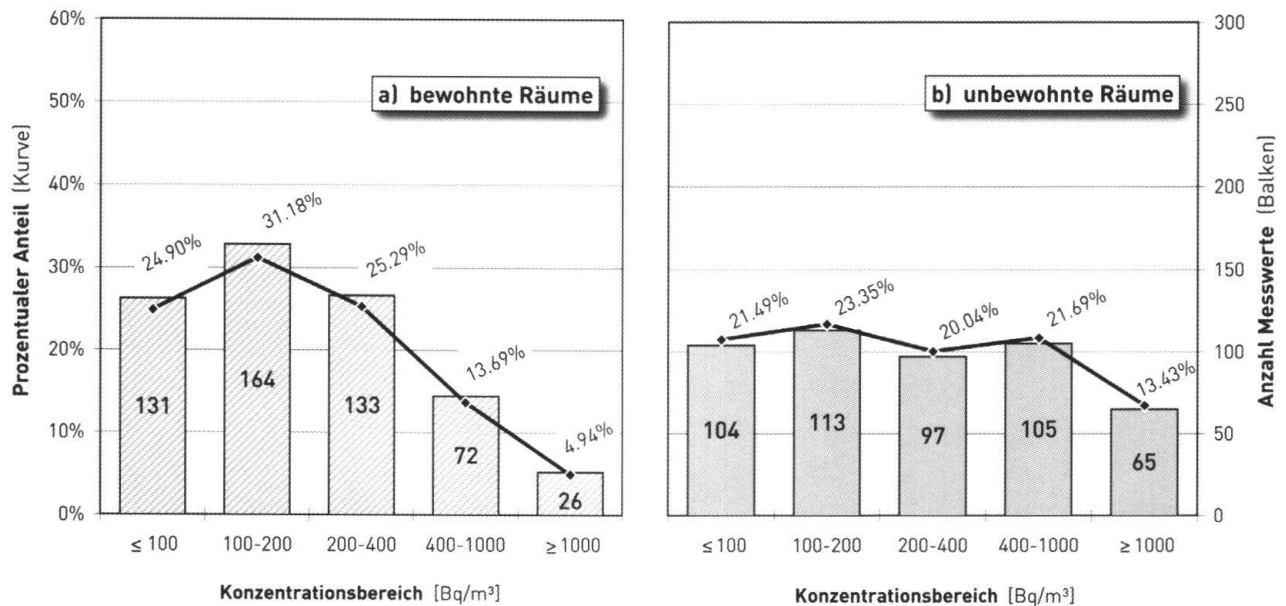


Fig. 6: Konzentrationsbereiche in a) bewohnten (links) sowie b) unbewohnten Räumen (rechts) der Gemeinden mit **hohem Radonrisiko**. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich (Balken) und der prozentualen Anteile (Kurve).

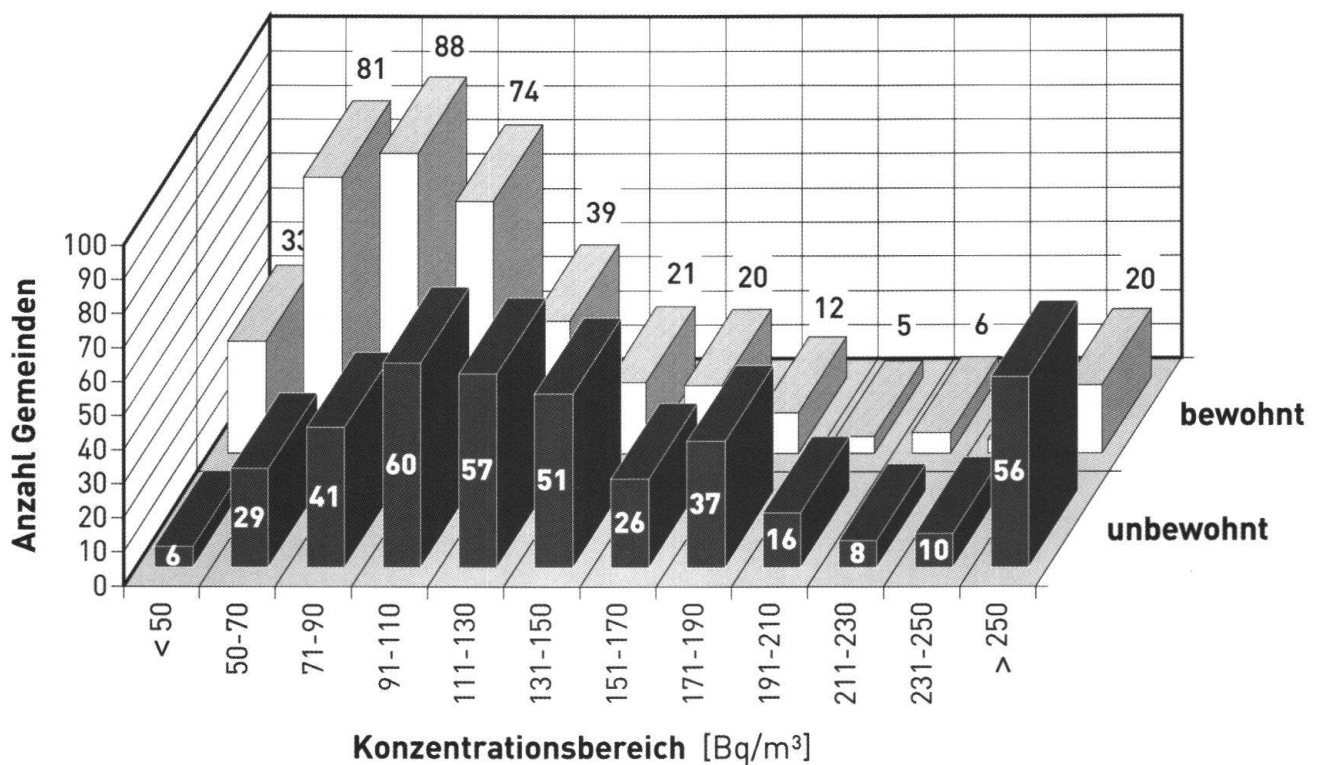


Fig. 7: Säulendiagramm der Konzentrationsbereiche der Gemeindemittelwerte in bewohnten und unbewohnten Räumen.

bei beiden Raumtypen. Es erfolgt eine Verschiebung der Anzahl Messwerte zu grösseren Konzentrationsbereichen hin. Während bei den bewohnten Räumen die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen (7) nur wenig zunimmt, zeigt vor allem der Konzentrationsbereich von 100–200 Bq/m³ im Verhältnis deutlich mehr Messwerte (39,6% gegenüber 16,7% bei den Gemeinden mit geringem Radonrisiko). Der Anteil an Messwerten mit <100 Bq/m³ verringert sich von 80% auf 47%. Die Kurve der prozentualen Anteile der einzelnen Bereiche verläuft nun nicht mehr exponentiell. Bei den unbewohnten Räumen verdoppeln sich die prozentualen Anteile der Bereiche 200–400 Bq/m³ und 400–1'000 Bq/m³.

Bei den Gemeinden mit hohem Radonrisiko (Fig. 6a und b) ändert sich das Bild vollständig. Die prozentualen Anteile der jeweiligen Konzentrationsbereiche von unbewohnten Räumen sind ausser bei der Klasse >1'000 Bq/m³ annähernd dieselben (20% bis 23%).

13,5% der Kellerwerte liegen über 1'000 Bq/m³. Bei den bewohnten Räumen liegt das Maximum der Werte im Bereich 100–200 Bq/m³ (31,2%). Die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen liegt bei 26, was 5% der Messungen in Gemeinden mit hohem Radonrisiko entspricht.

Die Datenvergleiche zeigen, dass im Kanton Bern durchschnittlich zirka jedes 200. Haus (2,6%) in bewohnten Räumen eine Radonkonzentration über dem Richtwert aufweist. Die Wahrscheinlichkeit eines Radongehaltes unter 100 Bq/m³ liegt bei 65,4%. In Gemeinden mit hohem Radonrisiko dagegen weist fast jedes fünfte Haus (18,6%) in den bewohnten Räumen Konzentrationen von über 400 Bq/m³ auf.

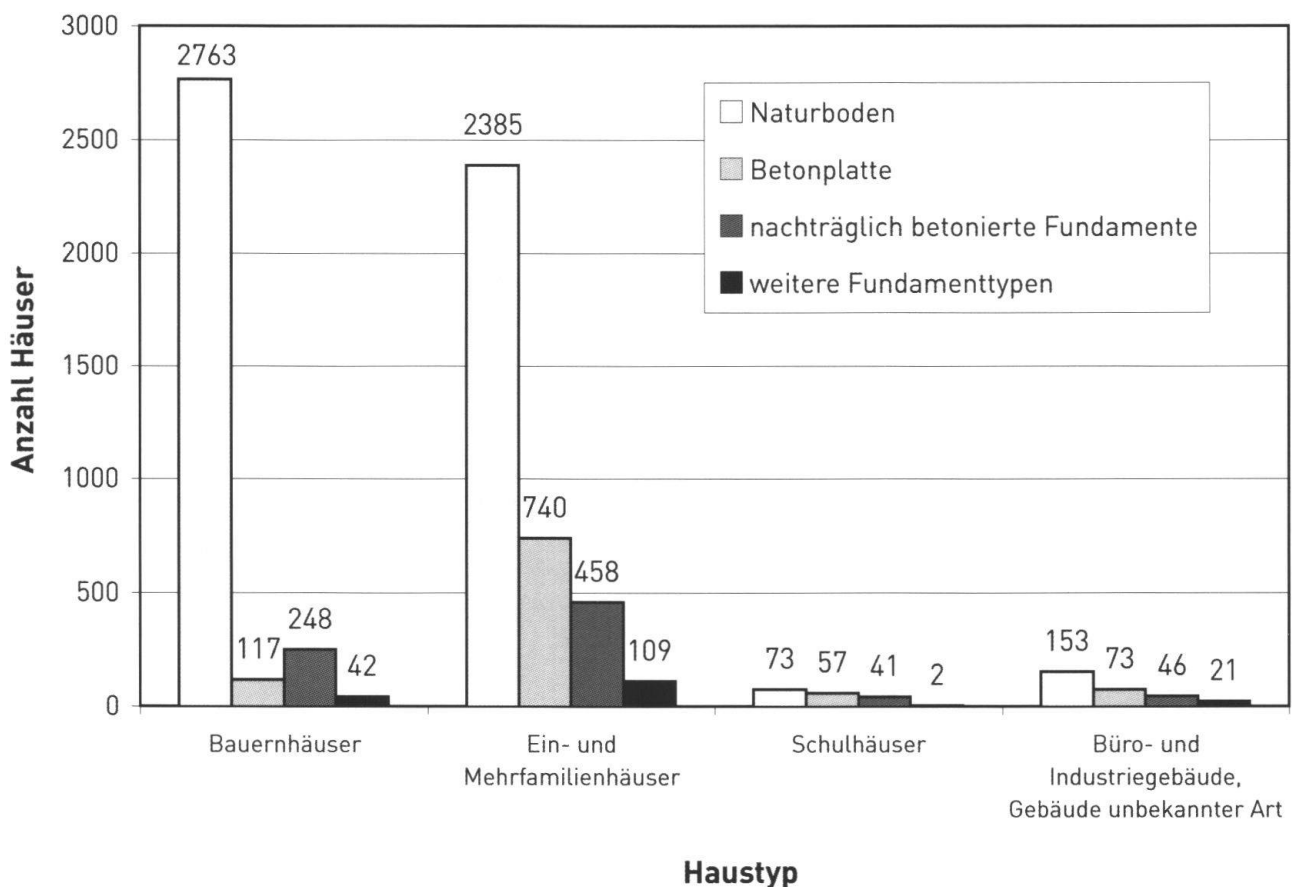


Fig. 8: Darstellung der Haustypen geordnet nach den verschiedenen Fundamentklassen.

4.2.2 Vergleich unterschiedlicher Haus- und Fundamenttypen

In dem für die Messungen verwendeten Fragebogen wurden auch Angaben über den Haustyp und das Fundament erfasst. Beim Haustyp wurde zwischen Bauernhaus, Ein- und Mehrfamilienhaus, Schule und weiteren Gebäuden wie Büro- oder Industriegebäude unterschieden. Bei den Fundamenttypen erfolgte die Differenzierung in Naturboden, Betonplatte, nachträglich betonierte Fundamente und in weitere untergeordnete Typen. Bei der Auswahl der Gebäude wurden Akzente auf alte Häuser mit Naturboden gelegt, da bei diesen Gebäuden Radon einfacher eindringen kann. Es bestand die Vermutung, dass diese Häuser generell höhere Radonwerte aufweisen als solche mit Betonfundamenten. In Figur 8 sind die Haustypen gegenüber den Fundamenttypen aufgetragen.

Die Daten zeigen, dass ca. 50% der Messungen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern (3'692 Gebäude) und 43% in Bauernhäusern (3'170 Gebäude) durchgeführt wurden. Eine Betrachtung der Fundamenttypen ergibt, dass 5'374 Häuser mit Naturboden erfasst wurden. Dies entspricht ca. 73% der Messungen. 13,5% der gemessenen Gebäude haben ein Betonfundament. Die Anteile der Messungen in den weiteren Gebäudetypen und in Häusern mit anderen Fundamenttypen sind gering. Die Vorgabe, möglichst viele Objekte mit Naturboden zu erfassen, wurde somit erfüllt. Die Analysen der Grenz- und Richtwertüberschreitungen in Bezug auf die Fundament- und Haustypen ergaben jedoch keine schlüssigen Resultate. Es kann folglich nicht davon ausgegangen werden, dass Gebäude mit Naturboden im Kellergeschoss grundsätzlich höhere Radonwerte aufweisen als jene mit Betonfundamenten.

5. Die Radonproblematik in der Zukunft

In Zusammenarbeit mit der zuständigen Fachstelle des BAG wird es in den nächsten Jahren Aufgabe des Kantonalen Laboratoriums sein, das Bewusstsein in Sachen Radon in der Bevölkerung zu fördern. Damit soll eine grössere Bereitschaft zur freiwilligen Sanierung von belasteten Liegenschaften erreicht werden. Zur Überprüfung, ob bei Um- und Neubauten die erforderlichen Massnahmen zur Reduktion der Radonbelastung ergriffen worden sind, werden in den Radongebieten, vor allem in Neubauten, stichprobenweise weitere Kontrollmessungen durchgeführt (ca. 20 pro Jahr). Zusätzlich wird der Bevölkerung der 30 Gemeinden mit hohem Radonrisiko (Radongebiete) in kostenlosen Messaktionen Gelegenheit geboten, die Radonbelastung in ihren Häusern abzuklären.

Literatur

- Antenen, F. 1936: Geologie des Seelandes. Landesteilverband Seeland des bernischen Lehrervereins. Verlag der Heimatkundekommission, 231 S.
- Ball, T.K., Cameron, D.G., Colman, T.B., Roberts, P.D. 1991: Behaviour of radon in the geological environment: a review. *Quarterly J. Engng. Geol.*, 24, 169–182.
- Behounek, F. 1927: Über die Verhältnisse der Radioaktivität im Uranpecherzbergbaurevier von St. Joachimstal in Böhmen, Radioaktivität von Quellen, Boden- und Grubenluft und der Atmosphäre. *Phys. Z.*, 28/9, 333–342.
- Böhm, Ch. 2003: Einfluss des Untergrundes auf die Radonkonzentration in Gebäuden – dargestellt anhand einiger Gebäude. Bundesamt für Gesundheit, Bern, 20 S.
- Brüllhardt, H., Labhart, T., Jeanneret, F., Leibundgut, Ch., Zumbühl, H.J., Iken, A., Hegg, O., v. Fellenberg, G., Sägger, H., Tschumi, P.-A., Grossenbacher, K., Volkart, H.-D., Zettel, J., Roth, H., Joss, H. 1981: Die Natur, Schönheit, Vielfalt, Gefährdung. Illustrierte Berner Enzyklopädie, Band 1. Bührler Verlag, 200 S.
- Buchli, R. & Burkart, W. 1989: Influence of subsoil geology and construction technique on indoor air ^{222}Rn levels in 80 houses of the central Swiss Alps. *Health Phys.*, 56/2, 423–429.
- Bundesamt für Gesundheit (BAG) 1999: Radioaktivität und Strahlenschutz. Bundesamt für Gesundheit, Bern, 22 S.
- Bundesamt für Gesundheit (BAG) 1999: Radon – Information zu einem strahlenden Thema. Bundesamt für Gesundheit, Bern, 23 S.
- Bundesamt für Gesundheit (BAG) 2003: Umweltraadioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 1992–2002. Bundesamt für Gesundheit, Bern/Freiburg.
- Bundesamt für Gesundheit (BAG) 2004: Strahlenschutz und Chemikalien. KSR-Seminar 12.–13.2.2004, Charmey.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BUNR) 2004: Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien. Bundesanzeiger Nr. 141, vom 30. Juli 2004, Seite 16'881.
- Czarwinski, R. & Lehmann, R. 1991: Die Strahlenexposition durch Radon und Radon-Folgeprodukte in Gebäuden der Bergbauggebiete in Sachsen und Thüringen und eine Analyse der Ursachen. In: Jacobs, H. & Bonka, H. (Hrsg.): Strahlenschutz für Mensch und Umwelt. Fachverband für Strahlenschutz, FS-91-55-T, 313–323.
- Gilliéron, F. 1988: Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Ser.*, 77 S.
- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Bern.
- Kreienbrock, L. 2003: Radon und Gesundheit. Vortragsunterlagen: Radon-Forum vom 3./4. November 2003, Luzern.
- Krewski, D., Lubin, J., Zielinski, J., Alavanja, M., Catalan, V.S., Field, R.W., Klotz, J.B., Letourneau, E.G., Lynch, C.F., Lyon, J.I., Sandler, D.P., Schoenberg, J.B., Steck, K.J., Stolwijk, J.A., Weinberg, C., Wilcox, H.B. 2005: Residential Radon and Risk of Lung Cancer: A Combined Analysis of 7 North American Case-Control Studies. *Epidemiology*, 16/2, 137–145.
- 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.
- Ludewig, P. & Lorensen, E. 1924: Untersuchung der Grubenluft in den Schneeberger Gruben auf den Gehalt an Radiumemanation. *Phys.Z.*, 22/8, 178–185.
- Medici, F. & Rybach, L. 1992: Radon und Geologie/Wasser. in: Bundesamt für Gesundheitswesen (Hrsg.): Radonprogramm Schweiz «RAPROS». Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987–1991. 65–95.
- Schüttmann, W. 1988: Zur Entdeckungsgeschichte des Radons. *Isotopenpraxis*, 24/4, 158–163.
- Schweizerischer Bundesrat 1994: Strahlenschutzverordnung (StSV) 22.6.1994; Stand 28.12.2001. SR814.501.
- Tanner, A. 1980: Radon mitigation in the ground: a supplementary review. in: Gesell. T.F., Lowder, W.M. (Hrsg.): The natural radiation environment, III. 5–56, Nat. Techn. Inform. Service, U.S. Dept. of Energy Rep. CONF-78422.
- Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern (blaue Bände), Bern.
- WHO 1996: Indoor air Quality: A risk-based approach to health criteria for radon indoors. Report on a WHO Working Group, Eilat, Israel, 28.03.–04.04.1993, EUR/ICP/CEH 108(A).