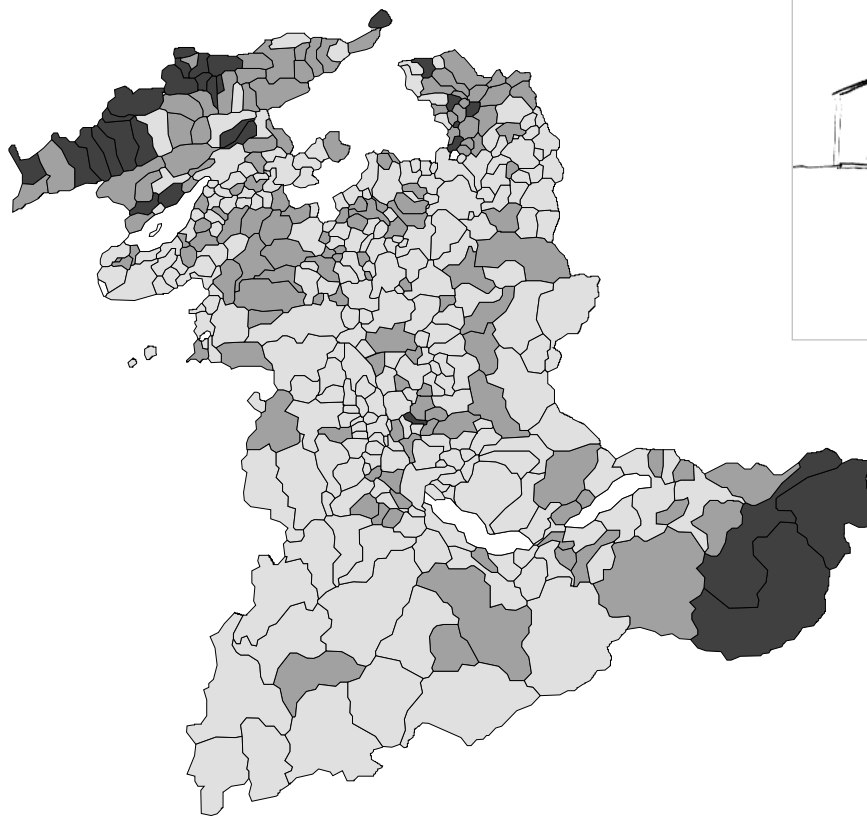





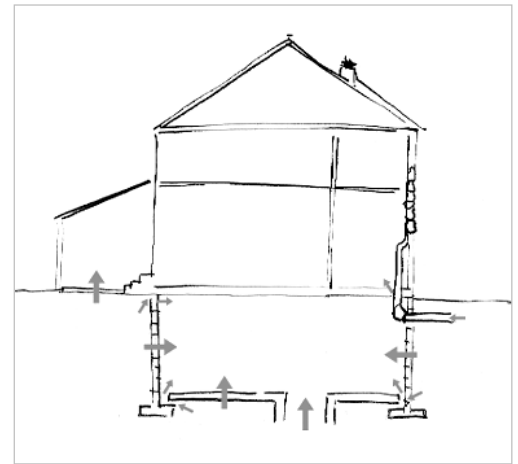


Radonmessprogramm Kanton Bern 1995 – 2004

Schlussbericht



-  Gemeinden mit geringem Radonrisiko
Mittelwerte ≤ 100 Bq/m³
-  Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko
Mittelwerte 101 - 200 Bq/m³
-  Gemeinden mit hohem Radonrisiko
Mittelwerte > 200 Bq/m³



Impressum:

Verfasser: GEOTEST AG
Birkenstrasse 15
3052 Zollikofen

Tel 031 910 01 01
Fax 031 910 01 00

Autoren: Dr. Jürgen Abrecht, Daniel Tobler

Kontaktadresse: Kantonales Laboratorium
Abteilung Umweltschutz und Gifte
Postfach
3000 Bern 9

Tel 031 633 11 41
Fax 031 633 11 98

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung, Problemstellung	5
2. Gesetzesgebung	5
3. Radon	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Geschichtliches	7
3.3 Geologie	7
4. Methodik	10
4.1 Allgemeines Vorgehen, Messkampagnen	10
4.2 Vorbereitungen, Kontakt mit Gemeinden	11
4.2.1 Vorbereitungen, Auswahl der Gemeinde	11
4.2.2 Kontakt mit den Gemeinden	11
4.3 Messungen	12
4.4 Auswertung	13
4.4.1 Die ACCESS-Datenbank	13
4.4.2 Ermittlung der Jahresmittelwerte der einzelnen Messobjekte	13
4.4.3 Weitere Auswertungen der Einzelobjekte	13
4.5 Beurteilungsgrundlage für die Klassierung der Gemeinden	14
4.6 Kommunikation der Resultate	15
5. Resultate	16
5.1 Klassierung der Gemeinden	16
5.2 Regionale Resultate	16
5.2.1 Jura	17
5.2.2 Alpen und Kalkalpen	17
5.2.3 Mittelland	18
5.2.4 Mittelland: Region Herzogenbuchsee und Jurasüdfuss	19
5.3 Resultate der Gemeinden - Jahresmittelwerte	19
5.3.1 Allgemeine Auswertung	19
5.3.2 Vergleich von bewohnten und unbewohnten Räumen	20
5.3.3 Vergleich unterschiedlicher Haus- und Fundamenttypen	22
5.4 Zusammenfassende Bemerkungen	24
5.5 Neubauten	24
5.6 Schulen und Kindergärten	25
5.7 Nachmessungen	26
6. Datenqualität (Fehlerquellen, Vergleiche, Abschätzungen)	27

7. Getroffene Massnahmen	28
8. Weiteres Vorgehen	28
9. Literatur	29

Anhang

Anhänge zu den Messungen der Kampagnen

Karte der 398 untersuchten Gemeinden der 1. - 9. Kampagne	1
Karte der klassierten Gemeinden aufgrund der Jahresmittelwerte in bewohnten Räumen	2
Liste aller Gemeinden mit Angaben der Klassifikation und der Mittelwerte	3a-d
Karte Moränen und Schotter des Rhonegletschers mit überlagerter Radonkarte	4
Gruppierung der Gemeinden aufgrund der Radonbelastung in bewohnten und unbewohnten Räumen	5
Diagrammdarstellung: Konzentrationsbereiche aller Gemeinden des Kantons Bern	6
Diagrammdarstellung: Konzentrationsbereiche der Gemeinden mit geringe Radonrisiko	7
Diagrammdarstellung: Konzentrationsbereiche der Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko	8
Diagrammdarstellung: Konzentrationsbereiche der Gemeinden mit hohem Radonrisiko	9
Säulendiagramm: Konzentrationsbereiche Mittelwerte bewohnte und unbewohnte Räume	10
Diagrammdarstellung: Haustypen und verschiedene Fundamentarten	11
Diagrammdarstellung: Fundamenttypen der Häusern mit Grenzwertüberschreitungen	12
Diagrammdarstellung: Fundamenttypen der Häusern mit Richtwertüberschreitungen	13
Diagrammdarstellung Messwerte: Mittel-, Minimal- und Maximalwert aller Gemeinden	14a-d

Anhänge zu den Messungen in Neubauten und Schulen von Gemeinden

mit hohem Radonrisiko

Säulendiagramm der Messdaten der Neubauten	15
Säulendiagramm der Messdaten von Schulen und Kindergärten in Gemeinden mit hohem Radonrisiko	16

1. Einleitung, Problemstellung

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 bestrahlen und schädigen das empfindliche menschliche Lungengewebe. Daher ist die Radonbelastung neben dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs (BAG 1999).

Mit der Strahlenschutzverordnung StSV von 1994 haben die Kantone die Aufgabe erhalten, Gebiete mit erhöhten Radongaskonzentrationen zu ermitteln. Im Kanton Bern wurde das Kantonale Laboratorium mit dem Vollzug der StSV beauftragt. Das Kantonale Laboratorium, vertreten durch Herrn Dr. M. Flisch, beauftragte nach einer Ausschreibung die Firma GEOTEST AG mit der Durchführung der Radonmessungen. Im Zeitraum zwischen 1995 und 2004 wurden systematisch alle Gemeinden des Kantons mit genügend Messungen erfasst. Für einen Teil der aufwändigen Arbeiten konnte bis 1997 auf die Gemeinden, später auf die lokalen Zivilschutzorganisationen zurückgegriffen werden. Der vorliegende Bericht umfasst sämtliche Ergebnisse der 9 durchgeführten Messkampagnen 1995 bis 2004.

2. Gesetzesgebung

Die Rechtslage betreffend Radon wird in der schweizerischen Strahlenschutzverordnung (StSV) geregelt. In der StSV vom 22.6.1995, 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.

Auf Grund der Erfahrungen im Ausland und aus den in der Schweiz durchgeführten Erhebungen wurden in der StSV folgende Grenz- bzw. Richtwerte festgelegt (Art. 110):

- 1 "Für Radonkonzentrationen in Wohn- und Aufenthaltsräumen gilt ein über ein Jahr gemittelter Grenzwert von 1000 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³)."
- 4 "Bei Neu- und Umbauten sowie bei Sanierungen gilt ein Richtwert von 400 Bq/m³, soweit dies mit einfachen baulichen Massnahmen erreicht werden kann."

3. Radon

3.1 Allgemeines

Unsere Erde besteht aus vielen verschiedenen Elementen; die meisten sind stabil, einige jedoch sind instabil, also radioaktiv. Zu diesen zählt das Uran (hauptsächlich U-238). Es ist Ursprung einer langen Zerfallsreihe. Die ersten Elemente dieser Serie sind Thorium und Radium. Beim weiteren Zerfall von Radium entsteht Radon, welches in weitere radioaktive

Elemente zerfällt. Radium und Thorium sind nicht sehr mobil und verbleiben somit im Untergrund. Mit dem Radon verhält es sich anders. Radon ist ein Edelgas. Es kann sich je nach Gasdurchlässigkeit des Bodens mehr oder weniger frei bewegen und auch in Häuser eindringen. Hier wird die radonhaltige Luft vom Menschen eingeatmet.

Das Risiko für den Menschen stellen die radioaktiven Zerfallsprodukte des Radons (Polonium, Blei, Wismuth) dar. Diese Elemente können sich an Staubpartikel anlagern und gelangen mit diesen beim Einatmen in die Lunge. Dort setzen sie sich ab; es kommt zu einer permanenten Bestrahlung der Bronchien und des Lungengewebes, wodurch sich das Risiko der Bildung eines Lungenkrebses erhöht.

Seit Beginn der achtziger Jahre hat sich Radon zum "Sorgenkind" im Strahlenschutz entwickelt. 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. Die entspricht ca. 300 Todesfällen pro Jahr. Radon ist somit nach dem Rauchen der zweitgrösste Risikofaktor für Lungenkrebs (BAG 1999).

Intensive Radon-Untersuchungen wurden 1987-91 in der ganzen Schweiz durchgeführt (Medici et al. 1992, BAG 2003). Die Resultate können wie folgt zusammengefasst werden:

- Radon dringt hauptsächlich vom Untergrund her in die Häuser ein. Der Beitrag durch Baumaterialien und Wasser spielt eine untergeordnete, praktisch 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. Es ist auch die Bodenpermeabilität, die massgebend ist.
- 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.
- Eine gut gegossene und somit dichte Betonplatte als Gebäudefundament vermag in der Regel das Eintreten von Radon zu hemmen.
- Die Radon-Konzentration nimmt von Stockwerk zu Stockwerk (d.h. von unten nach oben) 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 Innenluftkonzentration.

Der Innenluft-Radon-Gehalt kann mit baulichen Massnahmen reduziert werden. Bei hohen Konzentrationen ist eine Zwangsbelüftung, kombiniert mit der Abdichtung des Hauses gegenüber dem Untergrund am erfolgreichsten. Bei tieferen Konzentrationen reichen oft einfachere Massnahmen.

3.2 Geschichtliches

Bereits im 16. Jahrhundert wurde die gesundheitsschädigende Wirkung des Radons - obwohl selbst als chemisches Element noch unbekannt - bemerkt: In Schneeberg im Erzgebirge beobachtete Georg Agricola eine ungewöhnlich hohe Anzahl schwerer, meist tödlich verlaufender Lungenerkrankungen unter häufig noch sehr jungen Bergarbeitern (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 Urangeinnung abgebaut. Die Schneeberger Bergkrankheit wurde lange Zeit sehr unterschiedlich diagnostiziert, ehe zwei deutsche Ärzte sie 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 1898 durch das Ehepaar Curie wurden neue mögliche Ursachen gefunden. In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts konnte die Existenz von Radon in der Atmosphärenluft nachgewiesen werden. Weitere Untersuchungen über die Herkunft des Radon ergaben, dass Böden und Gesteine die direkte Quelle des Gases darstellen. Bis 1920 wurde daraufhin Radon in der Bodenluft vielerorts in lokalen Untersuchungen nachgewiesen.

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 Bergbaugebieten durchgeführt (Czarwinski et al. 1991). Seit den achtziger Jahren wird der Zusammenhang zwischen Radongas-Konzentration in Wohnräumen und dem Lungenkrebsrisiko sehr ausführlich untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass Radon für etwa 40% der jährlichen Strahlenbelastung der schweizerischen Bevölkerung verantwortlich ist. Mit der Einführung der Strahlenschutz-Verordnung im Jahre 1994 wurden die Grenz- und Richtwerte (siehe Kapitel 2) in der Schweiz definiert. Weltweit wurden in den letzten Jahren verschiedene epidemiologische Fallkontrollstudien zum Radon durchgeführt. Diese zeigen, dass das statistisch signifikante Lungenkrebsrisiko bei Radonkonzentrationen ab 150 Bq/m^3 nachweisbar ist (BUNR 2004, WHO 1996, Lubin et al. 1994). Heute laufen koordinierte Studien in Europa und Amerika, in denen auch die Schweiz involviert ist. Es wird erwartet, dass anhand der Studien auch konkrete Aussagen zu niedrigen Konzentrationen gemacht werden können. Zudem erhofft man sich Aufschlüsse darüber, ob und wie neben Lungenkrebs auch andere Arten von Tumoren durch Radon ausgelöst werden könnten (Kreienbrock 2003). Zur Festlegung von Grenzwerten für Personen, die beruflichen Kontakt zu Radon haben, sind die Studienergebnisse ebenso bedeutsam wie für den Schutz von Personen, die in Häusern mit einer erhöhten natürlichen Radonbelastung leben. Die Arbeiten werden allerdings noch mehrere Jahre andauern, bis gut fundierte Ergebnisse vorliegen

3.3 Geologie

Die Radonaktivität in der Bodenluft und damit auch 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, 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 Kristallingebiete 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 Abbildung 1, Brüllhardt et al. 1981). Die erhöhten Konzentrationen im Jura sind nicht zuletzt auf die erleichterte Zirkulation von Fluiden und Gasen im geklüfteten und verkarsteten Untergrund zurückzuführen.

Die ausschliessliche Betrachtung des Festgesteinsuntergrundes stellt eine Vereinfachung dar. Die granitischen Gesteine wurden erodiert und als Geröll oder Geschiebe durch Flüsse und Gletscher ins Mittelland verfrachtet. Innerhalb der dortigen Sediment- oder Lockergesteine können deshalb lokal ähnlich hohe Radonkonzentrationen auftreten. Im Allgemeinen sind aber die Radiumgehalte wegen der Vermischung mit verschiedenen Gesteinskomponenten in diesen Gebieten deutlich niedriger als in den Alpen.

Die **Durchlässigkeit des Untergrundes** wird bestimmt durch den Verwitterungsgrad der Gesteinspartikel, den Porenraum in Lockergesteinen und Fels (Klüftung, Karst) sowie den Wassergehalt des Bodens. Für die Radon-Freisetzung spielt die Porosität die entscheidende Rolle; je stärker verwittert ein Mineral- oder Gesteinskorn ist, desto mehr zerfallendes 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. In den grossen, zur Oberfläche hin meist lokal offenen Karstsystemen (Höhlen, Dolinen, Spalten) können sich hohe Radonkonzentrationen aufbauen. Gebäude mit einer Verbindung zu einem offenen Karstsystem können sehr hohe Radonkonzentrationen aufweisen.

Die Radongas-Konzentrationen in der Schweiz betragen

- in der Bodenluft über 10'000 Bq/m³
- im Wasser einige 1'000 Bq/m³
- im Freien ca. 10 Bq/m³

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.

4. Methodik

4.1 Allgemeines Vorgehen, Messkampagnen

Der Kanton Bern umfasst 398 Gemeinden (Anhang 1). Als Vorgabe für die Erfassung der Radonbelastung war in der Ausschreibung durch das Kantonale Laboratorium ein gemeindeweises Vorgehen festgelegt worden. Das heisst, dass ungeachtet von Grösse und Bevölkerungszahl sämtliche Gemeinden mit Messgeräten ausgerüstet werden sollten. In jeder Gemeinde sollen je 40 Messungen in 20 Häusern durchgeführt werden. In Gemeinden mit vielen Einwohnern oder Städten wurden mehr als 20 Messstandorte bestimmt. In den Gemeinden mit hohem und mittlerem Radonrisiko wurden zusätzlich total 52 Schulen und 48 Neubauten gemessen. Das tatsächlich ausgeführte Programm kann heute wie folgt umschrieben werden:

Tabelle 1 Das Radonmessprogramm des Kantons Bern der Jahre 1995-2004 (Anhang 1)

Kampagne	Zeitraum	Anzahl Gemeinden	Messzellen bzw. Messungen
1. Kampagne	Winter/Frühling 1995/96	12	240 Häuser à 2 Zellen → 480 Messungen
2. Kampagne	Winter/Frühling 1996/97	66	1320 Häuser à 2 Zellen → 2640 Messungen (effektiv 1. - 2. Kampagne: 3024 Messungen)
3. Kampagne	Winter/Frühling 1997/98	102	2080 Häuser à 2 Zellen → 4160 Messungen (effektiv: 4026 Messungen)
4. Kampagne	Winter/Frühling 1998/99	90*	1800 Häuser à 2 Zellen → 3600 Messungen (effektiv: 3357 Messungen)
5. Kampagne	Winter/Frühling 1999/2000	61	1220 Häuser à 2 Zellen → (2440) Messungen zusätzlich ca. 40 Nachmessungen
6. Kampagne	Winter/Frühling 2000/2001	33	(660) Häuser à 2 Zellen → (1320) Messungen zusätzlich ca. 30 Nachmessungen und Messungen in 52 Schulen und 27 Neubauten
7. Kampagne	Winter/Frühling 2001/2002	23	(460) Häuser à 2 Zellen → (920) Messungen zusätzlich ca. 20 Nachmessungen
8. Kampagne	Winter/Frühling 2002/2003	12	(260) Häuser à 2 Zellen → (520) Messungen zusätzlich 4 Nachmessungen
9. Kampagne	Winter/Frühling 2003/2004	1	(20) Häuser à 2 Zellen → (40) Messungen zusätzlich Messungen in 36 Neubauten
Total	1995-2004	398	→ 16'000 Messungen

* In zwei Gemeinden der 3. Kampagne wurden in der 4. Kampagne zusätzliche Messungen durchgeführt (Courtelary und Kandersteg).

Der generelle Ablauf der Kampagne umfasste die folgenden Arbeiten:

1. Auswahl der Gemeinden
2. Erarbeiten bzw. Überarbeiten von Informations- und Unterlagenmaterial für Behörden, Zivilschutzorganisationen und HausbewohnerInnen
3. Überarbeiten des Fragebogens für HausbewohnerInnen
4. Information der ausgewählten Gemeinden mittels Brief und Informationsunterlagen
5. Bereitstellen, Messen und Verschicken der Messzellen und Fragebogen (bei einigen Gemeinden erfolgte die Verteilung durch das Kantonale Laboratorium)
6. Betreuen der örtlichen Zivilschutzorganisationen der Gemeinden und betroffener Hausbesitzer
7. Messen der retournierten Messzellen
8. Kontrollieren und Ergänzen der Fragebogen
9. Nachführen der vom BAG übernommenen ACCESS-Datenbank
10. Auswerten der Daten und Erstellen der jährlichen Berichte und des Schlussberichts
11. Jährliche Teilnahme an der PSI-Radonvergleichsmessung zwecks Erfüllung der Anforderungen an die offiziellen Radon-Messstellen.

Die einzelnen Punkte sind in den folgenden Kapitel detailliert umschrieben.

4.2 Vorbereitungen, Kontakt mit Gemeinden

4.2.1 Vorbereitungen, Auswahl der Gemeinde

Für jede Kampagne war eine bestimmte Anzahl Gemeinde vorgesehen. 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 zudem 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.

4.2.2 Kontakt mit den Gemeinden

Sämtliche ausgewählten Gemeinden sowie die Regierungsstatthalter der betroffenen Ämter wurden vorgängig (im Frühjahr) über die geplanten Messungen orientiert. Dazu wurden Informationsdokumente erstellt und versandt, welche sowohl generelle Informationen zur Radonproblematik für die Hausbewohner als auch zum spezifischen Vorgehen im Rahmen der Messkampagnen für die zuständigen Personen in den Gemeinden enthielten.

Die erste Kontaktnahme mit den Gemeinden war mit der Aufforderung verbunden, ein Mitglied der Gemeinde, später der lokalen Zivilschutzorganisation als Kontaktperson zu bestimmen. Den Gemeinden war es aber immer möglich, die Arbeiten durch Gemeindeangestellte oder andere geeignete Personen durchführen zu lassen. Sämtliche

gemeldeten zuständigen Personen wurden jeweils im Frühsommer zu einer Informationsveranstaltung eingeladen, wo sie über die Durchführung und Ihre Aufgaben instruiert wurden (ausgenommen 8. und 9. Kampagne). Die Betreuung der Gemeinden während der Kampagne erfolgte vorwiegend telefonisch.

In der 8. und 9. Kampagne wurden von den Gemeinden lediglich die Messstandorte angegeben. Die Messzellen wurden durch Mitarbeiter des Kantonalen Laboratoriums ausgelegt bzw. verteilt.

4.3 Messungen

Von den Gemeindeverantwortlichen wurde eine Liste von Messobjekten erstellt, welche in einer Grundlagenkarte (Landeskarte 1:25'000) eingetragen waren. Die GEOTEST AG bereitete dann die entsprechende Anzahl Geräte (Dosimeter) vor und stellte sie den zuständigen Personen zur Verteilung zu. Den Dosimetern wurden Fragebögen beigelegt, die auf dem von BAG konzipierten Fragebogen basieren. Im Hinblick auf eine etwas detailliertere Erfassung der Haus- und Fundamenttypen wurden diese leicht ergänzt und zusätzlich mit einer Anleitung zum Aufstellen der Messzellen versehen. Dem Fragebogen wurde zudem die Informationsbroschüre des BAG "Radon-Informationen" für sämtliche betroffenen Haushalte beigelegt.

Das Messprozedere erfolgte nach den Vorschriften zu den verwendeten Messgeräten und den Angaben des BAG. Für das Messprozedere muss die Anfangsspannung der Messzellen im Labor gemessen werden. Dies wurde jeweils kurz vor Verschicken der Zellen durchgeführt. Die Zellen wurden nach der 1. Messung in ein luftdurchlässiges Säckchen verpackt. Die HausbewohnerInnen wurden aufgefordert, diese Säckchen nicht zu öffnen. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass die Messgeräte unversehrt blieben und die Messresultate nicht durch Öffnen der Dosimeter-Deckel beeinflusst wurden. Die Dosimeter wurden in luftdicht verschliessbaren PVC-Büchsen verschickt, welche zusätzlich mit Stickstoff ausgeblasen wurden.

Vor Ablauf der 3-monatigen Messperiode wurden die Gemeinden schriftlich daran erinnert, die Zellen zusammen mit den dazugehörigen ausgefüllten Fragebogen wieder einzusammeln und an die GEOTEST AG zurückzuschicken. Die Zellen wurden meistens in den PVC-Behältern retourniert. Es entstanden aber oft Verzögerungen, was vielfach zu einer Verlängerung der Expositionszeit führte. Spätestens 5 Tage nach Erhalt der Dosimeter wurde die Endspannung der Zellen gemessen. Kontrollmessungen an nicht exponierten Dosimetern, welche über 3 Monate in den PVC-Behältern aufbewahrt wurden, zeigten äusserst geringe Spannungsabfälle im Bereich des Messfehlers. Es kann daraus geschlossen werden, dass Verzögerungen, welche beim Exponieren nach der Erstmessung oder bei der Zweitmessung nach der Rücksendung entstehen können, die Messwerte nicht signifikant beeinflussen.

4.4 Auswertung

4.4.1 Die ACCESS-Datenbank

Die Daten der Kampagnen wurden in die vom BAG zur Verfügung gestellte Datenbank eingetragen, welche auch zur Berechnung der Konzentrationen benutzt wurde. Die Rohdaten wurden dabei zuerst in ein EXCEL-Tabellenkalkulationsblatt eingegeben. Dieses Vorgehen ist insbesondere für die Eingabe der Anfangs- und Endspannungen zeitsparend. Die Messwerte konnten anschliessend ohne Probleme in die ACCESS-Datenbank übertragen werden. Die ACCESS-Datenbank wurde von der GEOTEST AG in einigen Punkten den Bedürfnissen angepasst. Die Anpassungen betrafen vorwiegend die Ausgabemöglichkeiten der Daten (Tabellen und Grafiken für die Berichte). Für die Mittelwertberechnung und Gegenüberstellung von Werten aus bewohnten und unbewohnten Räumen mussten allerdings die Daten in eine EXCEL-Datei transferiert und dort einzeln auf Grund der Fragebogeneintragungen zugeordnet bzw. sortiert werden. Nur so war eine verlässliche Mittelwertberechnung überhaupt möglich, da beispielsweise ein Raum im Erdgeschoss nicht notwendigerweise ein bewohnter Raum ist, und die notwendige Sortierung deshalb nicht automatisch durch die Datenbank vorgenommen werden kann.

4.4.2 Ermittlung der Jahresmittelwerte der einzelnen Messobjekte

Für die Mittelwertberechnung wurden sämtliche brauchbaren Einzelmessungen, getrennt nach bewohnten und unbewohnten Räumen, verwendet. Für die Zuordnung der Messwerte wurden die Jahresmittelwerte in ein EXCEL-Datenblatt transferiert und dort unter Beizug der Informationen in den Fragebögen sortiert. Hohe Extremwerte (sog. "Ausreisser") aus bewohnten Räumen im Erdgeschoss, welchen "normal" tiefe Werte in den Kellerräumen gegenüberstanden, wurden für die Mittelwertberechnung nicht verwendet. In diesen Fällen bestand der Verdacht auf Verwechslung der Dosimeter, so dass die Messungen - sofern ein Wert über 400 Bq/m^3 lag - wiederholt wurden.

4.4.3 Weitere Auswertungen der Einzelobjekte

In allen Kampagnen wurde ein Vergleich zwischen den unbewohnten und bewohnten Räumen durchgeführt. Theoretisch besteht ein linearer Zusammenhang zwischen den Radongehalten in Kellerräumen und denen in höheren Stockwerken (siehe Kapitel 5.2). Gemäss Angaben in der Literatur wird dieser der Zusammenhang durch störende Einflüsse aber meist stark verwischt (Buchli et al. 1989).

Anhand der ausgeteilten Fragebogen konnten nebst der Expositionszeit und dem Standort der Geräte auch Informationen über den Haus- und Fundamenttyp erfasst werden. Für den Schlussbericht konnte somit auch eine Analyse aufgrund der Haustypen und der Fundamente durchgeführt werden.

4.5 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 2 dargestellte Unterteilung des "Radonrisikos" verwendet.

Tabelle 2 Tabelle der Kriterien für das Radonrisiko gemäss BAG

Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]	Radonrisiko
≤100	klein
100-200	mittel
>200	gross

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 werden normalerweise in 20 Häusern Messungen durchgeführt.

Für die Entscheidung, ob in einem einzelnen Gebäude Sanierungen notwendig sind, ist der Richtwert (400 Bq/m³) oder der Grenzwert (1000 Bq/m³) in bewohnten Räumen massgeblich. Aus der untenstehenden Tabelle 3 wird ersichtlich, wann bauliche Massnahmen resp. Sanierungen erforderlich sind.

Tabelle 3 Kriterien für bauliche Massnahmen (gemäss BAG 2004)

		hohes Radonrisiko	mittleres Radonrisiko	geringes Radonrisiko
	Mittlere Radonkonzentration	> 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	<ul style="list-style-type: none"> - Messung vor Planungsarbeiten notwendig - Baul. Massnahmen treffen - Kontrollmessungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Messung in betroffenen Räumen vor Planungsarbeiten empfohlen - Allfällige baul. Massnahmen treffen - nach Realisierung Kontrollmessungen empfohlen 	
	Renovation von Wohnräumen	<ul style="list-style-type: none"> - Vor Renovationsarbeiten Messung notwendig - Allfällige baul. Massnahmen treffen 	<ul style="list-style-type: none"> - Messung vor Renovation empfohlen - Allfällige baul. Massnahmen treffen 	
	Handänderungen von Liegenschaften	Messung vor oder nach Handänderung empfohlen. Allfälliger Artikel zu Radon im Kaufvertrag empfohlen		Messung vor oder nach Handänderung
Neubauten	Planung und Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Stand der Technik mit präventiven Massnahmen - SIA-180 Ziff. 3.1.4 - Kontrollmessung nach Fertigstellung empfohlen 	<ul style="list-style-type: none"> - Stand der Technik - SIA-180 Ziff. 3.1.4 	Stand der Technik

4.6 Kommunikation der Resultate

Nach der Auswertung aller Gemeinden einer Kampagne wurden die Messresultate den Hausbewohnern direkt mit einem Begleitbrief mitgeteilt. Im Begleitbrief fanden diese Informationen über die Beurteilung des Gebäudes aufgrund der Messung. Bei Gebäuden mit Messwerten in bewohnten Räumen $> 400 \text{ Bq/m}^3$ wurden Hinweise auf mögliche Sanierungsmassnahmen abgegeben. Bei den Liegenschaften mit Grenzwertüberschreitungen im Wohnraum wurden dem Begleitbrief die Merkblätter zur Senkung der Radongaskonzentration in Wohnhäusern (Brochure BAG) beigelegt. Im Anschluss an den Versand für die Hausbewohner wurde den Gemeindebehörden ein überarbeiteter Auszug aus dem Schlussbericht zugestellt. In dessen Anhang waren sämtliche Messungen der entsprechenden Gemeinde grafisch dargestellt. Aus Datenschutzgründen wurden die Messwerte ohne Adressangabe abgegeben.

Die Regierungsstatthalter der betroffenen Ämter wurden mit einem kurzen Schreiben über den Abschluss der jeweiligen Kampagne informiert. Sie wurden auf Wunsch mit dem Gesamtbericht der jeweiligen Kampagne durch uns beliefert.

5. Resultate

5.1 Klassierung der Gemeinden

Die Klassierung der Gemeinden erfolgte auf der Basis der Beurteilungsgrundlage, die in Kapitel 4.5 erläutert wurde. In den Anhängen 3a – 3d sind alle Gemeinden mit ihren Mittelwerten und der Klassifikation alphabetisch aufgelistet und in Anhang 2 grafisch dargestellt. Aufgrund der durchgeführten Messungen sind demnach folgende Gemeinden als Gebiete mit hohem Radonrisiko zu bezeichnen:

1. Kamp.	2. Kamp.	3. Kamp.	4. Kamp.	5. Kamp.	6. Kamp.	8. Kamp.	7. und 9. Kamp.
Gadmen St.-Imier	Cortébert Guttannen La Ferrière Mont-Tramelan Prêles Schelten Tramelan Villeret	Châtelat Herbligen Oberönz Pontenet	Cormoret Courtelary Loveresse Plagne Rebévelier Rumisberg Saicourt Saules Sornetan Twann Vauffelin	Graben Walliswil b.W.	Wanzwil	Innert- kirchen Souboz	keine Gemeinde mit hohem Risiko

Zusätzlich sind in Anhang 14a-d für alle Gemeinden die Mittelwerte mit den Minimal- und Maximalwerten dargestellt. Diese Darstellung erlaubt eine schnelle Erfassung des Streubereiches der einzelnen Kommunen. Sie zeigt auch deutlich, dass Häuser mit hohen Radonkonzentrationen nicht auf Gemeinden mit hohem Radonrisiko beschränkt sind. So fallen z.B. Bern oder Biel beide in die Klasse „Gemeinde mit geringem Radonrisiko“ (Mittelwerte 100 Bq/m^3), die gemessenen Höchstwerte in bewohnten Räumen liegen aber bei beiden Gemeinden über dem Richtwert; bei Bern gar über dem Grenzwert (ca. 1300 Bq/m^3).

5.2 Regionale Resultate

Eine Darstellung der klassierten Gemeinden und der Radonbelastung in den einzelnen Gemeinden zeigt (Anhang 2), dass die höchsten Radonkonzentrationen einerseits im Jura, andererseits in den Alpen auftreten. Allerdings zeigen nur diejenigen alpinen Gemeinden 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 (Oberaargau), welche im Vergleich zu den meisten bisher erfassten Gemeinden dieser Region eine signifikant erhöhte Belastung aufweisen.

In der Folge werden die Messergebnisse der einzelnen Gebiete detailliert beschrieben und analysiert.

5.2.1 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 aus Kalken bestehende Gebirge ist stark geklüftet und verkarstet. Eingeschwemmte lehmige Sedimentablagerungen wie auch die gute Durchlässigkeit des Untergrundes sind für die hohen Radongehalte verantwortlich. Das Auftreten von sehr hohen Radonwerten und ihre Ursache im Jura sind aber noch nicht restlos geklärt.

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 Molassefelsuntergrund. 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.

5.2.2 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 „Kirchetriegels“ (Innertkirchen bis Grimsel- und Sustenpass) und besteht aus den kristallinen Anteilen des Aarmassivs, der hohe Anteile an Mineralien mit radioaktiven Elementen enthält. 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. Stockornkette und Hohgant. Störzonen 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 weisen generell tiefe Radonkonzentrationen auf. 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 im Untergrund verlaufenden Hohgant-Sundlauenener-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 ihre gute Durchlässigkeit bekannt ist. Radon aus dem Kristallin im Untergrund kann durch die geklüfteten Zonen einfach an die Oberfläche gelangen. Vermutlich können die mittleren Konzentrationen so 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 Matten 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.

5.2.3 Mittelland

Das Mittelland ist das zwischen Jura und Alpen gelegene Gebiet. Das Landschaftsbild wird 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 Störzonen und die glaziale Überprägung (Seitenmoränen und mächtige Schotterablagerungen) verursachen an verschiedenen Orten mittlere bis sogar hohe Radonkonzentrationen (Herbligen).

Gemeinden mit hohem Radonrisiko

Die Mittellandgemeinde Herbligen weist als einzige hohe Radonkonzentrationen auf. Dies könnte mit der wichtigen geologischen Noflen-Störung mit erhöhtem Radongastransport entlang des geklüfteten Untergrundes zusammenhängen. Diese 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 Einzugsbereich der Störungszone 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 5.2.4). 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, Moränenwälle und 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.

5.2.4 Mittelland: Region Herzogenbuchsee und Jurasüdfuss

Bei diesen Gemeinden handelt es sich um die Region um Herzogenbuchsee und den Jurasüdfuss. Das gesamte Gebiet ist durch die quartären Ablagerungen des Rhonegletschers (Endstadium) dominiert. In Anhang 4 sind die Moränen und Schotter des Rhonegletschers zwischen Twann und Solothurn dargestellt (aus Antenen 1936).

Vergleicht man diese Karte mit der Darstellung des Radonpotentials im Kanton Bern, können die Gemeinden mit mittleren oder gar hohen Radonrisiken daraus abgeleitet werden. Die Gemeinden, welche auf den Rückzugsschottern des Gletschers liegen (Sutz, Safnern, Pieterlen, Lengnau) oder auf mächtigen, jungen Alluvialschottern (Aegerten, Brügg und Schwadernau) weisen mittlere Radonkonzentrationen auf.

Im Gebiet Herzogenbuchsee verhält es sich genau gleich. Die Gemeinden mit hohem Radonpotential (Herzogenbuchsee Oberönz, Walliswil b.W., Graben und Wanzwil) weisen als gemeinsame Eigenschaft ihre Lage auf quartären Rückzugsschottern auf. 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 leichten Anhöhen (Molasse) nur geringe Radonkonzentrationen.

5.3 Resultate der Gemeinden - Jahresmittelwerte

5.3.1 Allgemeine Auswertung

Pro Gemeinde wurden im Normalfall 40 Dosimeter verschickt, welche für die Erfassung von jeweils 20 Häuser vorgesehen waren. Unter Berücksichtigung der Gemeinden, in welchen weniger oder mehr als 20 Häuser erfasst wurden, konnten insgesamt rund 15'000 Geräte ausgeliefert werden. Darin nicht berücksichtigt sind die in Neubauten durchgeführten Messungen sowie die Nachmessungen. Unter Berücksichtigung der verlorenen Geräte und

der unbrauchbaren Messungen (geöffnete Dosimeter) konnten gesamthaft etwa 14'500 Messungen aus ca.7'500 Häusern ausgewertet werden, was gut 95 % der ausgelieferten Dosimeter entspricht.

5.3.2 Vergleich von bewohnten und unbewohnten Räumen

Wie bereits in der Einführung erwähnt, besteht ein theoretischer linearer Zusammenhang zwischen den Radongehalten in Kellerräumen und denen in höheren Stockwerken, da das Radon aus dem Untergrund stammt und via Kellerräume in die übrigen Hausbereiche eindringt (Buchli et al. 1989). Für den Transport des Radons aus dem Boden ins Hausinnere sind hauptsächlich die undichte Gebäudehülle und die Sogwirkung der Luftzirkulation im Haus (warme Luft steigt auf) verantwortlich. So sollte die Radonkonzentration im Gebäude theoretisch von Stockwerk zu Stockwerk abnehmen.

Der Vergleich von bewohnten Räumen (hauptsächlich Erdgeschoss) und unbewohnten Räumen (grösstenteils Keller) wurde sowohl auf Stufe Einzelobjekt als auch mit den Gemeindemittelwerten durchgeführt Anhang 5. Bei beiden Vergleichen lässt sich eine Abhängigkeit vermuten.

Die Beziehung zwischen den entsprechenden Radonwerten wird sehr oft empfindlich gestört; zum Beispiel durch bauliche Eigenheiten, Lüftungssituation, heterogener Untergrund etc. Dies dürfte gerade bei Gemeinden mit stark unterschiedlichen Haustypen und, weniger ausgeprägt, variablem geologischem Untergrund der Fall sein. Der Einfluss des Haustyps wird bei Häusern ohne eigentliches Kellergeschoss deutlich (Eindringen des Radongases meist direkt in bewohnte Räume). Zudem spielt auch die Hanglage eines Hauses eine wichtige Rolle. Ein in den Hang hinein gebautes Haus weist eine grössere Kontaktfläche mit dem Untergrund auf als ein Haus in der Ebene. Die Konzentrationsverteilung des Radons kann in den beiden Haustypen unter der Annahme gleicher Untergrundeigenschaften stark differieren.

Vergleicht man die Mittelwerte von bewohnten und unbewohnten Räumen der einzelnen Gemeinden miteinander, wird der lineare Zusammenhang klar sichtbar (Anhang 2). Einflüsse von unterschiedlichen, baulichen Eigenschaften etc. der einzelnen Objekte werden bei der Betrachtung des Gemeindemittelwertes verwischt. Erwartungsgemäss liegen die Werte aus unbewohnten Räumen (d.h. mehrheitlich Räume im Untergeschoss) jeweils höher als die Werte aus bewohnten Räumen (d.h. mehrheitlich Räume im Erdgeschoss). Anzumerken ist, dass die Gemeinden Saanen und La Ferrière für diese Zusammenstellung nicht berücksichtigt wurden, da die Messungen ausschliesslich in unbewohnten (Saanen) bzw. bewohnten Räumen (La Ferrière) durchgeführt wurden. Das gemittelte Verhältnis von Radonkonzentration in bewohnten zu Radonkonzentration in unbewohnten Räumen liegt bei ca. 2:3. Eine Ausnahme bildet hierbei die Gemeinde *Schelten*. Bei dieser Gemeinde 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 kein Kellergeschoss auf, sondern bewohnte und unbewohnte Räume sind im Erdgeschoss nebeneinander zu finden. Bei Hanglagen 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 Räumen der Gemeindegruppen mit geringem-, mittlerem und hohem Radonrisiko einander gegenübergestellt. Zudem wurde der Vergleich der Jahresmittelwerte für alle Gemeinden des Kantons erstellt. Einige vergleichende Kennzahlen sind in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4 Vergleich von Jahresmittelwerten aus bewohnten und unbewohnten Räumen für alle Gemeinden (Probenzahl: 14'459 Messungen in ca. 7'500 Häusern) und Gemeinden mit hohem Radonpotential (Probenzahl: 1'019 Messungen in ca. 500 Häusern)

	Alle Gemeinden		Gemeinden mit hohem Radonpotential	
	bewohnte Räume	unbewohnte Räume	bewohnte Räume	unbewohnte Räume
Jahresmittelwert Bq/m ³	108	173	299	504
Median (50%-Quantil)	91	132	257	410
90%-Quantil	51	74	203	228
10%-Quantil	178	319	381	808
<100 Bq/m ³	65.4%	53.5%	24.9%	21.5%
100-200 Bq/m ³	25.1%	24.9%	31.2%	23.3%
200-400 Bq/m ³	6.9%	12.3%	25.3%	20.0%
400-1'000 Bq/m ³	2.1%	6.8%	13.7%	21.7%
>1'000 Bq/m ³	0.5%	2.5%	4.9%	13.4%

Bereits in Tabelle 4 können markante Unterschiede zwischen den Auswertungen aller Gemeinden und den Daten der Gemeinden mit hohem Radonrisiko festgestellt werden. In den Anhängen 6 - 9 sind nun die obigen Werte sowie die entsprechende Anzahl Messungen je Konzentrationsbereich 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 auch die jeweils höheren Werte in den unbewohnten Räumen. Dies lässt sich auch aus Anhang 10 entnehmen, wo im Histogramm 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 zeigt aber auch, dass die Einteilung der Radonpotentialklassen mit der Grenze 100 Bq/m³ zu diskutieren ist. Um 100 Bq/m³ besteht eine Häufung der Mittelwerte.

In den Gemeinden mit geringem Radonrisiko (Anhang 7) ist bei den bewohnten Räumen in 80% der Fälle eine Radonkonzentration von unter 100 Bq/m³ vorhanden. 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 (Anhang 8) ändert sich das Verteilungsmuster 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 (Anhang 9) ändert sich das Bild völlig. 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 Darstellung aller Gemeinden des Kantons Bern (Anhang 6) ist der Grafik der Gemeinden mit geringem Radonrisiko ähnlich. Dies ist nicht erstaunlich, da dieser Klasse die meisten Messwerte zuzuordnen sind.

Die Datenvergleiche zeigen (Tabelle 4), dass im Kanton Bern durchschnittlich jedes ca. 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.

5.3.3 Vergleich unterschiedlicher Haus- und Fundamenttypen

In dem von uns für die Messungen verwendeten Fragebogen wurden Angaben über den Haustyp und das Fundament erfasst. Beim Haustyp wurde zwischen Bauernhaus, Ein- und Mehrfamilienhaus, Schule und weiteren Gebäuden wie Bürogebäude sowie 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 bekanntlich 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 den Anhängen 11 bis 13 sind einerseits die Haustypen gegenüber den Fundamenttypen aufgetragen (Anhang 11). Andererseits wurden die Fundamenttypen den Radongehalten der Häuser gegenübergestellt (Anhänge 12 und 13). Einige wichtige Kennzahlen sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Sämtliche Daten der Haus- und Fundamenttypen

Haustyp	Bauernhäuser		Ein- und Mehrfamilienhäuser		Schulhäuser u. Kindergärten		weitere Gebäude		Total
	Häuser	%	Häuser	%	Häuser	%	Häuser	%	
Naturboden	2763	37,7%	2385	32,5%	73	1,0%	153	2,1%	5374
Betonplatte	117	1,6%	740	10,1%	57	0,8%	73	1,0%	987
nachtr. betoniert	248	3,4%	458	6,3%	41	0,6%	46	0,6%	793
andere	42	0,6%	109	1,5%	2	0,03%	21	0,3%	174
Total	3170	43,3%	3692	50,4%	173	2,4%	293	4,0%	7328

Die Daten in Tabelle 5 zeigen, dass 50% der Messungen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern (3692 Gebäude) und 43% in Bauernhäusern (3170 Gebäude) durchgeführt wurden. Eine Betrachtung der Fundamenttypen ergibt, dass 5374 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 grafische Darstellung in Anhang 11 verdeutlicht diese Verhältnisse. Die Vorgabe, möglichst viele Objekte mit Naturboden zu erfassen wurde somit erfüllt.

Eine Betrachtung der Radonwerte mit den zugehörigen Fundamenttypen (Anhänge 12 und 13) zeigt, dass die meisten Grenz- und Richtwertüberschreitungen in Häusern mit Naturboden gemessen wurden. Dies war zu erwarten, da der grösste Teil der gemessenen Objekte Keller mit Naturboden aufweisen. Bei der Darstellung der prozentualen Anteile der Richt- und Grenzwertüberschreitungen besteht nur ein geringer Unterschied zwischen den Fundamenttypen Naturboden und Betonplatte. Bei den Richtwertüberschreitungen liegen die Anteile der Häuser mit Betonplatte bei den Gemeinden mit kleinem und mittlerem Radonrisiko leicht höher als bei den Gebäuden mit Naturboden. Bei den Grenzwertüberschreitungen weisen nur die Gemeinden mit hohem Radonrisiko höhere Werte bei den Häusern mit Naturböden auf. Es kann folglich nicht davon ausgegangen werden, dass Gebäude mit Naturboden im Kellergeschoss grundsätzlich höhere Radonwerte aufweisen als jene mit Betonfundamenten.

Die Anteile der hohen Radonwerte bei den Fundamenttypen „nachträglich betoniert“ und „Fundamente mit Hohlraum“ sind wiederum nicht erstaunlich. Bei diesen Fundamenten kann davon ausgegangen werden, dass vor der Renovation der Kellerraum aus Naturboden bestand. Mit dem nachträglich eingebrachten Fussboden bleiben undichte Stellen entlang der Fugen zwischen Boden und Seitenwänden bestehen. Dies könnte eine mögliche Erklärung für die hohen Anteile von Richt- und Grenzwertüberschreitungen bei diesen Fundamenttypen sein.

5.4 Zusammenfassende Bemerkungen

Nach dem Abschluss der Radonmesskampagnen präsentiert sich der Radonvollzug im Kanton Bern wie folgt:

Anzahl gemessene Gemeinden	398	
Anzahl Gemeinden mit Mittelwert		
< 100 Bq/m ³ (geringes Radonrisiko)	237	(60%)
100-200 Bq/m ³ (mittleres Radonrisiko)	131	(33%)
> 200 Bq/m ³ (hohes Radonrisiko, sogenanntes Radongebiet)	30	(7%)
Anzahl gemessene Häuser	7328	
Anzahl Häuser mit Richtwertüberschreitung	155	(2.1%)
Anzahl Häuser mit Grenzwertüberschreitung	35	(0.5%)

5.5 Neubauten

Im Rahmen der Kampagnen im Winter 2000/01 und 2003/04 wurden in den bekannten Gemeinden mit mittlerem und hohem Radonrisiko total 48 Neubauten gemessen. Im Winter 2000/01 wurden in allen Gebäuden 3; im Winter 2003/04 jeweils nur 2 Geräte platziert. Gesamthaft konnten 104 Messzellen aufgestellt werden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 Messgeräte-Bilanz in Neubauten von Gemeinden mit mittlerem und hohem Radonrisiko

	Neubauten
Anzahl gemessene Häuser	48
Anzahl für Messung vorgesehene Häuser	52
Geräte exponiert	104
Gültige Messungen	96
nicht brauchbare Messungen (Dosimeter geöffnet oder zerstört)	-
Geräte nicht exponiert	5
Geräte verloren	3
Säckchen geöffnet	30

Von den Messwerten der 30 Zellen mit geöffnetem Säckchen konnten sämtliche trotzdem verwendet werden. Die Resultate der Messungen sind in einem Säulendiagramm in Anhang 15 zusammenfassend dargestellt.

Bei den total 48 Neubauten wurde lediglich in einem Haus eine Richtwertüberschreitung festgestellt (Saicourt). Der Wert von 480 Bq/m^3 lag allerdings nur knapp über dem Richtwert. Im betroffenen Wohnhaus wurden drei Messzellen ausgelegt. Die Messung mit Richtwertüberschreitung erfolgte in einem teilweise bewohnten Kellerraum. Dieser Kellerraum grenzt an den Weinkeller, welcher einen Naturboden (Fels) aufweist. Die beiden anderen Messungen im Erdgeschoss und im 1. Stock lagen zwischen 50 und 100 Bq/m^3 . Im Begleitbrief zu den Resultaten der Messung wurde dem Eigentümer eine Empfehlung für mögliche Sanierungsmassnahmen abgegeben.

Bei allen übrigen Messungen in bewohnten und unbewohnten Räumen von Neubauten lagen die Werte unterhalb des Richtwertes für bewohnte Räume.

5.6 Schulen und Kindergärten

Im Winter 2000/01 und während der übrigen Kampagnen wurden in den bekannten Gemeinden mit hohem Radonrisiko total 54 Schulen und Kindergärten gemessen. Bei den Messungen im Winter 2000/2001 konnten jeweils drei Messzellen pro Gebäude verteilt werden. In Schulen, welche während der Kampagnen erfasst wurden, konnten nur 2 Geräte ausgelegt werden. Gesamthaft wurden in Schulen somit 105 Messzellen aufgestellt (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Messgeräte-Bilanz in Schulgebäuden und Kindergärten von Gemeinden mit hohem Radonrisiko

	Schulen
Anzahl Häuser	54
Gültige Messungen	135
nicht brauchbare Messungen (Dosimeter geöffnet oder zerstört)	1
Geräte nicht exponiert	3
Geräte verloren	4
Säckchen geöffnet	23
Geräte exponiert	143

Von den Messwerten der 23 Zellen mit geöffnetem Säckchen wurden 22 (95.7%) trotzdem verwendet. Bei einem Gerät konnte eine Konzentration von über 7000 Bq/m^3 gemessen werden. Dieser Wert wurde nicht berücksichtigt, da die Spannung durch berühren der Messoberfläche weitgehend abgebaut wurde. Die Resultate der Messungen sind in einem Säulendiagramm in Anhang 16 zusammenfassend dargestellt.

Bei den Schulhäusern und Kindergärten ergaben die Messungen 6 Richt- und 2 Grenzwertüberschreitungen. Die betroffenen Gemeinden mit Richtwertüberschreitungen sind Graben, Loveresse, Oberönz, Saicourt, Sornetan und Tramelan, diejenigen mit Grenzwertüberschreitungen Guttannen und St-Imier. Die beiden Schulen mit Konzentrationen über 1000 Bq/m^3 wurden dem Bundesamt für Gesundheit bereits gemeldet. Massnahmen zur Eindämmung der Radonkonzentration werden durch das BAG verordnet. Denjenigen

Gemeinden mit Schulen, welche Messwerte über 400 Bq/m³ aufweisen, wurde zusammen mit den Messresultaten eine Empfehlung für Sanierungsmassnahmen abgegeben.

Nebst den Gebäuden mit Richt- und Grenzwertüberschreitungen konnten mehrere Schulen mit Kellerwerten von 800 - bis über 4000 Bq/m³ erfasst werden. Die Werte in den Schulräumen lagen jedoch überall unterhalb des Richtwertes. Das BAG hat sich auch diesen Gebäuden angenommen.

5.7 Nachmessungen

Ab der 5. Kampagne wurden Nachmessungen in den Gebäuden aus der vorangehenden Radonmesskampagne durchgeführt, in welchen Richtwertüberschreitungen im bewohnten Raum festgestellt wurden. Für die Auswertung wurde der Mittelwert der beiden Messungen verwendet. Die Resultate dieser Nachmessungen sind nur teilweise zufrieden stellend. In der Zeit von 2000 bis 2004 wurden gesamthaft 66 gültige Nachmessungen ausgeführt, davon 4 in Schulen. Die Geräte wurden alle durch Mitarbeiter des Kantonalen Laboratoriums ausgeteilt, jedoch grösstenteils nicht selbst platziert. Die vier Nachmessungen in den Schulen haben die hohen Werte der ersten Messung bestätigt. Bei den Messungen in den Liegenschaften, welche während der Messkampagnen erfasst wurden, konnten 22 Richtwertüberschreitungen nicht bestätigt werden. Dies entspricht einem Fehler von 35% (siehe Tabelle 8), d.h. jede 3 Messung konnte nicht bestätigt werden. Aufgrund der Erfahrungen mit hoher Probenzahl erscheint uns die Anzahl der nicht bestätigten Messwerte als zu hoch, da sonst auch die übrigen Resultate mit einer entsprechenden Unsicherheit behaftet wären. Dafür gibt es jedoch keinen Hinweis. Wir vermuten vielmehr, dass die Messungen nicht überall sachgemäss durchgeführt wurden.

Die Resultate wurden dem Eigentümer mit Begleitbrief zugestellt. Als Grundlage für die Einstufung der einzelnen Haushalte wurde dabei der Mittelwert der beiden Messungen verwendet. Auch für die statistischen Auswertungen wurde der Mittelwert berücksichtigt. In der ACCESS Datenbank bleiben beide Werte (d.h. 1. Messung und Nachmessung) bestehen.

Tabelle 8 Bilanz der Nachmessungen

Kampagne	Anzahl Haushalte mit Nachmessungen	bestätigte Messungen	nicht bestätigte Messungen
Winter 1999/2000	43	30	13
Winter 2000/2001	13	6	7
Winter 2001/2002	8 *	6	2
Winter 2002/2003	2	2	2

* davon 4 Schulen, bei welchen die hohen Werte bestätigt wurden

6. Datenqualität (Fehlerquellen, Vergleiche, Abschätzungen)

Nachdem die Zusammenarbeit mit Gemeindeangehörigen nicht überall zufriedenstellend abgelaufen war, erhoffte man sich durch den Einbezug der lokalen Zivilschutzorganisation einen speditiveren Ablauf (Einhaltung der Termine) und eine bessere Qualitätssicherung. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Messungen in den meisten Fällen korrekt durchgeführt wurden und brauchbare resp. interpretierbare Ergebnisse lieferten. Es muss aber erwähnt werden, dass eine gewisse Anzahl lokaler Mitarbeiter ihre Arbeit nicht mit der von uns erhofften Gewissenhaftigkeit durchgeführt haben. Dies beruht einerseits auf terminlichen Schwierigkeiten, andererseits auch auf mangelndem Interesse an der Problematik.

Aufgrund der Erfahrungen in der 1. und 2. Kampagne, wo die Gemeinden offenbar zu wenig Zeit zur Verfügung hatten, die erforderlichen Arbeiten zu erledigen, wurde die Terminplanung für die 3. bis 9. Kampagne neu angepasst. Die Gemeinden wurden früher angefragt, sodass die verantwortlichen Personen ihre Einsätze zum Verteilen und Einsammeln der Geräte früh genug planen konnten. Trotzdem gab es in einzelnen Fällen immer wieder Verzögerungen.

Abgesehen von den terminlichen Schwierigkeiten, die zwar oft unangenehm waren, aber die Messergebnisse kaum beeinträchtigten, sind Probleme, die sich aus der unvollständigen oder falschen Bearbeitung der Fragebogen ergeben, schwer wiegender. Leider fehlten bei einer beträchtlichen Anzahl der Fragebogen wichtige Angaben (z.B. Zeitraum der Exposition, Aufstellungsort der Dosimeter), so dass langwieriges und oft auch ergebnisloses Nachfragen erforderlich war.

Unseres Erachtens existieren drei Hauptgründe für die erwähnten Unzulänglichkeiten:

- Die Gemeinden oder die örtlichen Zivilschutzorganisationen hatten oft Schwierigkeiten, eine zuständige Person für die Koordination der Messungen in ihrer Gemeinde zu finden. Zudem erfolgten in den Zivilschutzorganisationen in den vergangenen Jahren massive Umstrukturierungen. So wurden zum Beispiel mehrere lokale Zivilschutzorganisationen zu einem regionalen Zivilschutz zusammengelegt.
- Oft war die zeitliche Beanspruchung der zuständigen Person grösser als vorher angenommen.
- Mangelndes Interesse und niedere Prioritätensetzung seitens der Gemeinde und/oder der zuständigen Person.

Die oben erwähnten Unzulänglichkeiten beeinträchtigten die Messresultate, wie bereits erwähnt, kaum. Im Gegensatz dazu wurden die Messungen in einzelnen Fällen durch unsachgemässe Handhabung der Dosimeter oder fragwürdige Platzierungen der Geräte stark beeinflusst. Unter unsachgemässer Handhabung fällt z.B. das Öffnen der Dosimeter. Platzierungen in der Nähe von Heizkörpern (Schmelzen der Geräte), im Dampfzug der Küche oder an sehr feuchten Standorten (v.a. Keller) konnten trotz Informationsveranstaltung und –beschreibung nicht verhindert werden. Diese Resultate wurden, sofern sie bei der Auswertung erkannt wurden, nicht verwendet, d.h. es wurden Nachmessungen durchgeführt.

7. Getroffene Massnahmen

Aufgrund der gesetzlichen Grundlagen sind bis anhin keine Hausbesitzer gezwungen worden, die Radonkonzentration im eigenen Wohnraum zu senken. Hier liegt die Verantwortung bei jedem einzelnen. Nur auf Gesuch von Betroffenen (d.h. in der Regel Mieter) hin muss der Eigentümer bei Grenzwertüberschreitungen innerhalb von 3 Jahren die erforderlichen Sanierungen vornehmen (Strahlenschutz-Verordnung Art. 113).

Bei Handwechsel von Liegenschaften gilt eine grenzwertüberschreitende Radonkonzentration als versteckter Mangel, so dass der vormalige Besitzer auch nach Vertragsabschluss noch belangt werden kann.

Richt- und Grenzwert sind in der Schweiz mit 400 Bq/m^3 und 1000 Bq/m^3 im internationalen Vergleich hoch angesetzt; in der EU beispielsweise liegen sie bei 200 und 400 Bq/m^3 . Neuere Studien (BUNR 2004) haben zudem ergeben, dass schon bei Radonkonzentrationen ab 150 Bq/m^3 ein statistisch signifikantes zusätzliches Lungenkrebsrisiko besteht. Die Fachstelle Radon rät daher nicht nur bei Richtwertüberschreitungen, sondern auch bei leicht erhöhten Radonbelastungen, diese mit vergleichsweise einfachen und billigen baulichen Massnahmen im Haus zu senken.

Im Kanton Bern ist bei den ca. 7500 Häusern, die für den Radonkataster gemessen wurden, in 35 Fällen im Wohnbereich der Grenzwert überschritten worden. Den Eigentümern wurden Sanierungen dringend empfohlen. Die Fachstelle Radon des BAG kann für eine eingehende Beratung über die Sanierungsmöglichkeiten beigezogen werden. In 15 Fällen wurde eine grössere Sanierung durchgeführt. Die Radonbelastung konnte in jedem dieser Häuser mittels Ventilatoren unter den Richtwert gesenkt werden.

In Zukunft muss jedem Baugesuch ein unterschriebenes Exemplar des Formulars „Radon“ beiliegen. Dieses weist auf das Radonrisiko hin und zeigt mögliche bauliche Schutzmassnahmen auf. Es ist Sache der Baufachleute und der Bauherrschaft, die geeigneten Schutz- und Sanierungsmassnahmen vorzuschlagen. Da Sanierungen von bestehenden Häusern meist nur mit aktiver Be- und Entlüftung erfolgreich sind, lohnen sich bei Neubauten präventive passive Massnahmen: Mit einem Aufpreis von 4000.- (d.h. weniger als 1% der Gesamtbaukosten) kann eine Liegenschaft nachhaltig gegen Radon geschützt werden.

8. Weiteres Vorgehen

Mit der Vervollständigung des Radonkatasters verfügt der Kanton Bern nun über eine gute Kartierung des bewohnten Kantonsgebietes. Die Radonproblematik ist damit aber noch nicht gelöst (s. Kap. 7). Dies liegt einerseits an der Unberechenbarkeit des Untergrundes. So können den schon erfassten Häusern direkt benachbarte Liegenschaften eine deutlich unterschiedliche Konzentration aufweisen. Andererseits kann das Radonrisiko im Vergleich zu anderen Risiken der Bevölkerung schlecht vermittelt werden. Radon ist sinnlich nicht wahrnehmbar und einzelne Lungenkrebsfälle können nicht eindeutig dem Radon zugeschrieben werden. Die Einschätzung des Radonrisikos wird deshalb sowohl von Seiten der Behörden als auch der Bevölkerung generell unterschätzt.

In Zusammenarbeit mit der Fachstelle Radon des BAG ist es in den nächsten Jahren Aufgabe der Kantonsbehörden, die Sensibilität der Radonproblematik in der Bevölkerung zu erhöhen. Damit dürfte, unabhängig von den gesetzlichen Minimalanforderungen (siehe Tabelle 3), die Bereitschaft zur Sanierung von belasteten Liegenschaften steigen. Das Kantonale Laboratorium wird zusammen mit dem BAG in erster Linie in den 30 Gemeinden mit hohem Radonpotenzial weitere kostenlose Messaktionen durchführen. So haben alle betroffenen Bewohner die Möglichkeit, Gewissheit über die Radonbelastung in ihrem Haus zu erhalten.

Im Weiteren obliegt dem Kanton nach wie vor die Kontrolle über die Neubauten. Jedes Jahr werden somit weiterhin in einigen Gemeinden 20 Neubauten auf die Einhaltung des Richtwertes überprüft.

Ausserdem führt das Kantonale Laboratorium den Radon-Kataster nach, bedient die Gemeinden sowie Statthalterämter mit aktualisierten Karten und ist kantonale Anlaufstelle für alle Fragen betreffend Radon.

9. 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., Sägesser, H., Tschumi, P.-A., Grossenbacher, K., Volkart, H.-D., Zettel, J., Roth, H., Joss, H. 1981: Band 1: Die Natur, Schönheit, Vielfalt, Gefährdung, Illustrierte Berner Enzyklopädie, Böhler Verlag, 200 S.

Buchli, R., Burkart, W. 1989: Influence of subsoil geology and construction technique on indoor air ²²²Rn 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: Umweltradioaktivität 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., Radon und Gesundheit, 2003, Radon-Forum vom 3./4. November 2003 in Luzern

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

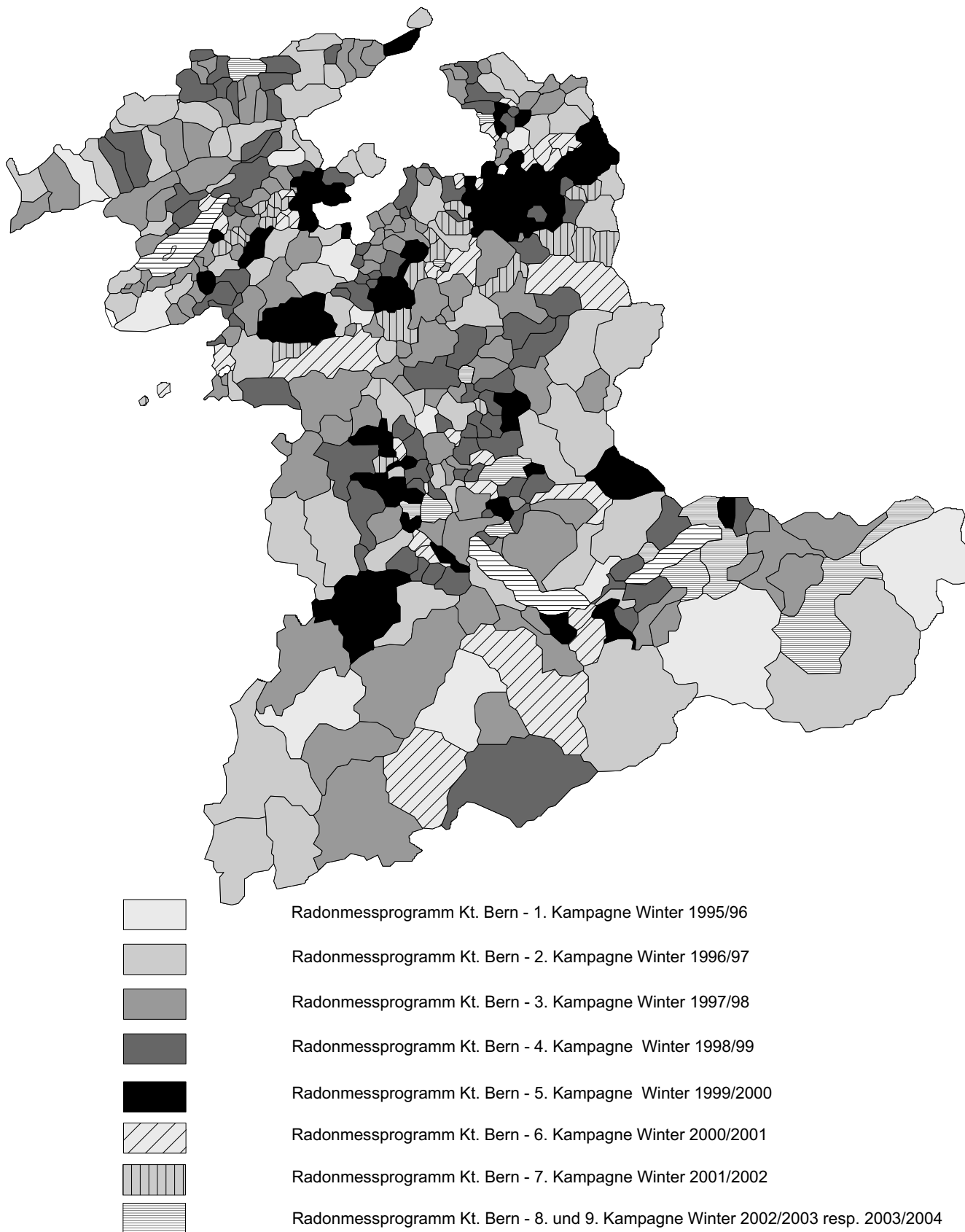
Schweizerischer Bundesrat 1994: Strahlenschutzverordnung (StSV) 22.6.1994; Stand 28.12.2001. SR814.501

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

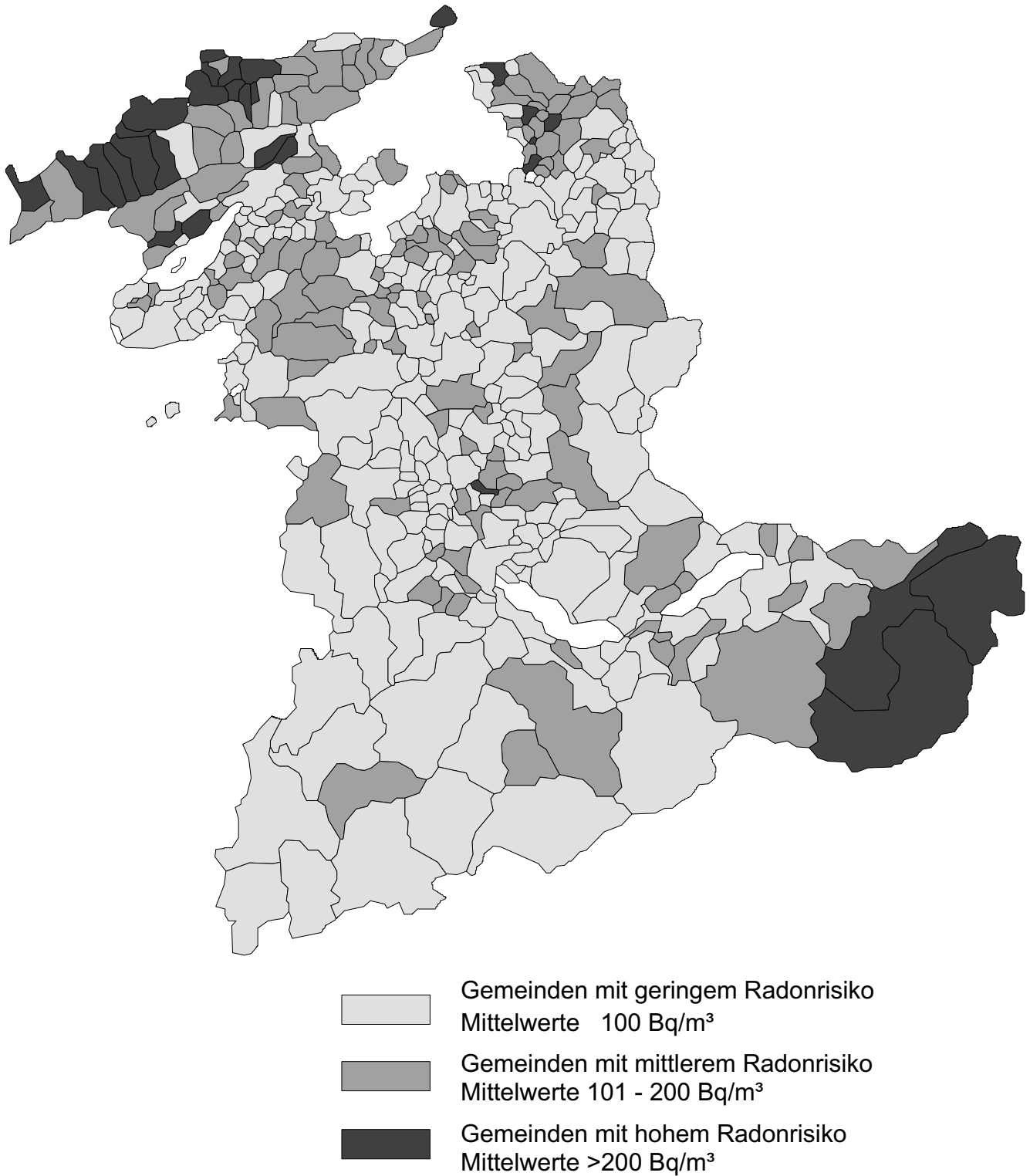
Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA): Grundlagen für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern (blaue Bände), Bern

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)

Die Gemeinden der 1. - 9. Messkampagne Winter 1995-2004



Klassierung der Gemeinden aufgrund der Jahresmittelwerte in bewohnten Räum



Liste der Gemeinden mit Angaben der Klassifikation und der Mittelwerte der bewohnten und unbewohnten Räume

Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radonrisiko	Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radonrisiko
	bewohnte Räume	unbewohnte Räume			bewohnte Räume	unbewohnte Räume	
Aarberg	80	123	klein	Champroz	152	330	mittel
Aarwangen	138	149	mittel	Châtelat	337	408	gross
Adelboden	68	135	klein	Clavaleyres	87	144	klein
Aefligen	110	132	mittel	Corcelles	94	254	klein
Aegerten	198	96	mittel	Corgémont	93	311	klein
Aeschi b. Spiez	53	61	klein	Cormoret	216	392	gross
Aeschlen	440	121	mittel	Cortébert	498	995	gross
Affoltern i. S.	47	181	klein	Court	139	398	mittel
Albigen	92	107	klein	Courtelay	299	714	gross
Alchenstorf	91	60	klein	Crémines	100	106	mittel
Allmendingen	79	71	klein	Därligen	184	82	klein
Amsoldingen	115	83	mittel	Därstetten	58	167	klein
Arch	65	141	klein	Deisswil	114	184	mittel
Arni	95	117	klein	Diemerswil	76	152	klein
Attiswil	92	153	klein	Diemtigen	48	18	klein
Auswil	56	139	klein	Diessbach	100	133	mittel
Ballmoos	101	140	mittel	Diesse	120	-----	mittel
Bangerten	132	196	mittel	Dotzigen	56	67	klein
Bannwil	152	209	mittel	Dürrenroth	192	186	mittel
Bargen	86	74	klein	Eggwil	78	111	klein
Bäriswil	88	119	klein	Epsach	134	126	mittel
Bätterkinden	65	151	klein	Eriswil	79	137	klein
Beatenberg	54	115	klein	Eriz	128	32	klein
Bellmund	70	138	klein	Erlach	142	173	mittel
Belp	58	74	klein	Erlenbach i.S.	52	112	klein
Belpberg	84	136	klein	Ersigen	131	152	mittel
Belprahon	145	474	mittel	Eschert	196	153	mittel
Berken	146	114	mittel	Etzelkofen	143	132	mittel
Bern	201	94	klein	Evilard	174	213	mittel
Bettenhausen	188	171	mittel	Fahrni	108	72	klein
Bévilard	81	159	klein	Farnern	71	46	klein
Biel	96	347	klein	Ferenbalm	212	96	klein
Biglen	74	180	klein	Finsterhennen	46	51	klein
Bleienbach	82	51	klein	Forst	72	100	klein
Bleiken	104	124	mittel	Fraubrunnen	107	97	mittel
Blumenstein	52	124	klein	Frauenkappelen	144	100	mittel
Bolligen	95	51	klein	Freimettigen	131	181	mittel
Bollodingen	154	170	mittel	Frutigen	38	136	klein
Boltigen	63	114	klein	Gadmen	265	682	gross
Bönigen	83	180	klein	Gals	78	182 (c)	klein
Bowil	62	109	klein	Gampelen	58	101	klein
Bremgarten	133	175	mittel	Gelterfingen	87	56	klein
Brenzikofen	39	199	klein	Gerzensee	58	80	klein
Brienz	68	153	klein	Golaten	71	52	klein
Brienzwiler	162	179	mittel	Gondiswil	65	36	klein
Brügg	95	33	klein	Graben	182	1149	gross
Brütelen	71	116	klein	Grafenried	153	184	mittel
Buchholterberg	108	74	mittel	Grandval	106	137	mittel
Bütigen	123	81	klein	Grindelwald	148	176	mittel
Bühl	83	84	klein	Grossaffoltern	174	171	mittel
Büren a.A	94	121	klein	Grosshöchstetten	81	118	klein
Büren zum Hof	113	248	mittel	Gsteig	84	372	klein
Burgdorf	131	77	klein	Gsteigwiler	141	144	mittel
Burgstein	99	116	klein	Guggisberg	64	74	klein
Busswil	73	75	klein	Gündlischwand	178	126	mittel
Busswil b. B.	54	68	klein	Gurbrü	63	55	klein

Radonmessprogramm Kantons Bern
Schlussbericht

Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radon- risiko	Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radon- risiko
	bewohnte Räume	unbewohnte Räume			bewohnte Räume	unbewohnte Räume	
Gurzelen	46	76	klein	Längenbühl	112	135	mittel
Gutenburg	115	54	klein	Langenthal	87	357	klein
Guttannen	248	468	gross	Langnau i.E.	78	132	klein
Habkern	111	112	mittel	Lauenen	82	245	klein
Hagneck	122	195	mittel	Laupen	89	183	klein
Hasle b.B.	67	104	klein	Lauperswil	101	138	mittel
Hasliberg	155	240	mittel	Lauterbrunnen	95	97	klein
Häutligen	108	98	klein	Leimiswil	84	114	klein
Heiligenschwendi	27	122	klein	Leissigen	70	86	klein
Heimberg	102	152	mittel	Lengnau	113	142	mittel
Heimenhausen	128	202	mittel	Lenk	73	181	klein
Heimiswil	96	106	klein	Leuzigen	103	146	mittel
Hellsau	95	51	klein	Ligerz	99	136	klein
Herbligen	250	246	gross	Limpach	74	53	klein
Hermiswil	96	176	klein	Linden	70	152	klein
Hermrigen	94	92	klein	Lohnstorf	70	68	klein
Herzogenbuchsee	120	105	mittel	Lotzwil	244	115	mittel
Hilterfingen	62	101	klein	Loveresse	244	694	gross
Hindelbank	97	240	klein	Lüscherz	79	107	klein
Höchstetten	42	123	klein	Lütschental	74	183	klein
Höfen	109	95	klein	Lützelflüh	157	208	mittel
Hofstetten	65	108	klein	Lyss	101	140	mittel
Homberg	53	131	klein	Lyssach	174	326	mittel
Horrenbach-Buchen	23	56	klein	Madiswil	68	103	klein
Huttwil	79	74	klein	Malleray	169	305	mittel
Iffwil	53	58	klein	Matten	183	392	mittel
Inkwil	79	84	klein	Mattstetten	118	145	mittel
Innerkirchen	267	761	gross	Meienried	89	101	klein
Ins	64	113	klein	Meikirch	108	168	mittel
Interlaken	73	136	klein	Meinisberg	75	131	klein
Ipsach	77	137	klein	Meiringen	90	125	klein
Iseltwald	53	104	klein	Melchnau	50	74	klein
Ittigen	131	276	mittel	Merzligen	120	175	mittel
Jaberg	50	75	klein	Mirchel	89	116	klein
Jegenstorf	90	93	klein	Monible	164	350	mittel
Jens	99	158	klein	Mont-Tramelan	316	418	gross
Kallnach	70	119	klein	Moosseedorf	97	126	klein
Kandergrund	114	287	mittel	Mörigen	95	89	klein
Kandersteg	53	102	klein	Mötschwil	95	73	klein
Kappelen	100	141	mittel	Moutier	114	147	mittel
Kaufdorf	67	140	klein	Mühleberg	54	94	klein
Kehrsatz	81	196	klein	Mühledorf	81	177	klein
Kernenried	97	183	klein	Mühlethurnen	63	100	klein
Kienersrüti	83	59	klein	Mülchi	91	78	klein
Kiesen	143	307	mittel	Münchenbuchsee	176	179	mittel
Kirchberg	130	177	mittel	Münchenwiler	189	91	klein
Kirchdorf	35	53	klein	Münchringen	27	71	klein
Kirchenturnen	96	117	klein	Münsingen	94	206	klein
Kirchlindach	80	110	klein	Müntschemier	89	101	klein
Kleindietwil	122	102	mittel	Muri	95	142	klein
Köniz	74	172	klein	Neuenegg	122	174	mittel
Konolfingen	56	124	klein	Neuveville	110	114	mittel
Koppigen	41	64	klein	Nidau	47	78	klein
Krattigen	109	218	mittel	Niederbipp	186	196	mittel
Krauchthal	69	79	klein	Niederhünigen	70	87	klein
Kriechenwil	100	115	mittel	Niedermuhlern	59	88	klein
La Ferrière	1021	--	gross	Niederönz	140	245	mittel
La Heutte	176	318	mittel	Niederösch	143	258	mittel
Lamboing	73	159	klein	Niederried	123	367	mittel
Landiswil	80	105	klein	Niederried b. K.	70	57	klein

Radonmessprogramm Kantons Bern
Schlussbericht

Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radonrisiko
	bewohnte Räume	unbewohnte Räume	
Niederstocken	142	239	mittel
Nods	181	350	mittel
Noflen	34	63	klein
Oberbalm	78	43	klein
Oberbipp	118	106	mittel
Oberburg	54	217	klein
Oberdiessbach	169	296	mittel
Oberhofen	85	137	klein
Oberhünigen	85	102	klein
Oberlangenegg	93	140	klein
Oberönz	307	1210	gross
Oberösch	51	162	klein
Oberried	68	66	klein
Obersteckholz	64	91	klein
Oberstocken	111	250	mittel
Oberthal	81	134	klein
Oberwil b. B.	87	147	klein
Oberwil i.S.	67	94	klein
Ochlenberg	68	114	klein
Oeschenbach	63	109	klein
Oppligen	85	119	klein
Orpund	52	85	klein
Orvin	152	181	mittel
Ostermundigen	79	150	klein
Perrefitte	106	523	mittel
Péry	85	165	klein
Pieterlen	100	92	mittel
Plagne	258	504	gross
Pohlern	107	156	mittel
Pontenet	246	292	gross
Port	95	133	klein
Prêles	201	306	gross
Radelfingen	117	90	mittel
Rapperswil	35	40	klein
Rebévelier	332	619	gross
Reconvilier	178	222	mittel
Reichenbach i. K.	255	166	mittel
Reisiswil	75	121	klein
Renan	198	205	mittel
Reutigen	62	171	klein
Riggisberg	115	124	mittel
Ringgenberg	112	148	mittel
Roches	79	103	klein
Roggwil	117	195	mittel
Rohrbach	71	68	klein
Rohrbachgraben	44	58	klein
Romont	94	265	klein
Röthenbach	192	222	mittel
Röthenbach b.H.	107	142	mittel
Rubigen	160	236	mittel
Rüderswil	92	139	klein
Rüdtligen-Alchenflüh	66	107	klein
Rüeggisberg	75	178	klein
Rüegsau	64	166	klein
Rumendingen	66	59	klein
Rumisberg	293	721	gross
Rümligen	73	98	klein
Ruppoldsried	66	84	klein
Rüscheegg	85	92	klein
Rüti b.B.	97	110	klein

Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radonrisiko
	bewohnte Räume	unbewohnte Räume	
Rüti b.R.	39	65	klein
Rüti bei Lyssach	87	162	klein
Rütschelen	82	82	klein
Saanen	--	113	klein
Safnern	102	152	mittel
Saicourt	287	409	gross
Saules	218	235	gross
Saxeten	118	45	klein
Schalunen	66	67	klein
Schangnau	45	80	klein
Schattenhalb	190	452	mittel
Schelten	201	70	gross
Scheunen	72	126	klein
Scheuren	53	88	klein
Schlosswil	111	139	mittel
Schüpfen	107	113	mittel
Schwadernau	104	91	mittel
Schwanden b.B.	153	220	mittel
Schwarzhäusern	160	338	mittel
Schwendibach	42	112	klein
Seeberg	80	63	klein
Seedorf	152	132	mittel
Seehof	154	150	mittel
Seftigen	56	69	klein
Signau	101	129	mittel
Sigriswil	74	85	klein
Siselen	149	159	mittel
Sonceboz-Sombeval	123	491	mittel
Sonvilier	173	373	mittel
Sornetan	272	492	gross
Sorvilier	123	157	mittel
Souboz	380	350	gross
Spiez	45	141	klein
St. Stephan	140	175	mittel
Steffisburg	26	117	klein
Stettlen	87	102	klein
St-Imier	244	556	gross
Studen	72	98	klein
Sumiswald	275	102	mittel
Sutz-Lattrigen	183	101	mittel
Tägertschi	100	150	mittel
Täuffelen	99	82	klein
Tavannes	166	278	mittel
Teuffenthal	70	190	klein
Thierachern	108	146	mittel
Thörigen	106	102	mittel
Thun	67	112	klein
Thunstetten	113	122	mittel
Toffen	50	107	klein
Trachselwald	64	120	klein
Tramelan	394	399	gross
Treiten	72	88	klein
Trimstein	90	88	klein
Trub	67	129	klein
Trubschachen	73	194	klein
Tschugg	127	93	mittel
Tüscherz	121	104	mittel
Twann	225	399	gross
Uebeschi	62	25	klein
Uetendorf	73	134	klein












Radonmessprogramm Kantons Bern
Schlussbericht

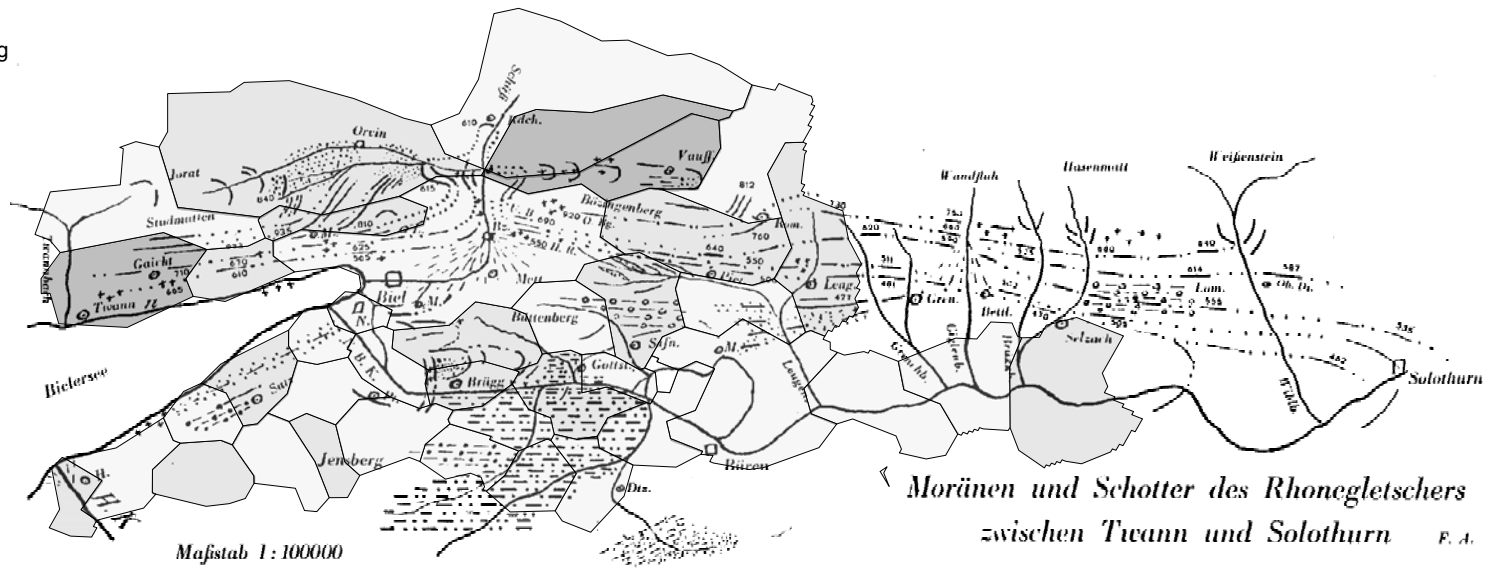
Gemeinde	Arithmetisches Mittel [Bq/m ³]		Radon- risiko
	bewohnte Räume	unbewohnte Räume	
Unterlangenegg	23	59	klein
Unterseen	68	99	klein
Untersteckholz	49	57	klein
Ursenbach	47	84	klein
Urtenen	79	118	klein
Uttigen	61	96	klein
Utzenstorf	65	226	klein
Vauffelin	203	400	gross
Vechigen	77	81	klein
Villeret	241	256	gross
Vinelz	95	115	klein
Wachsdorn	54	131	klein
Wahlern	109	140	mittel
Wald	78	73	klein
Walkringen	72	137	klein
Walliswil b. N.	173	161	mittel
Walliswil-Wangen	294	360	gross
Walperswil	126	126	mittel
Walterswil	93	98	klein
Wangen a.A.	88	121	klein
Wangenried	122	102	mittel
Wanzwil	159	224	gross
Wattenwil	63	145	klein
Wengi	159	252	mittel
Wichtrach	69	68	klein
Wiedlisbach	138	262	mittel
Wiggiswil	100	131	mittel
Wilderswil	95	117	klein
Wiler	115	185	mittel
Wileroltigen	77	109	klein
Willadingen	97	65	klein
Wimmis	46	123	klein
Wohlen	112	175	mittel
Wolfisberg	63	201	klein
Worb	104	97	mittel
Worben	51	97	klein
Wynau	114	146	mittel
Wynigen	46	101	klein
Wyssachen	61	100	klein
Zauggenried	70	118	klein
Zäziwil	37	72	klein
Zielebach	101	126	mittel
Zollikofen	73	72	klein
Zuzwil	81	125	klein
Zweismmen	37	182	klein
Zwieselberg	96	122	klein

Moränen und Schotter des Rhonegletschers zwischen Twann und Solothurn mit überlagerter Radonkarte

(aus Geologie des Seelandes, F. Antenen, 1936)

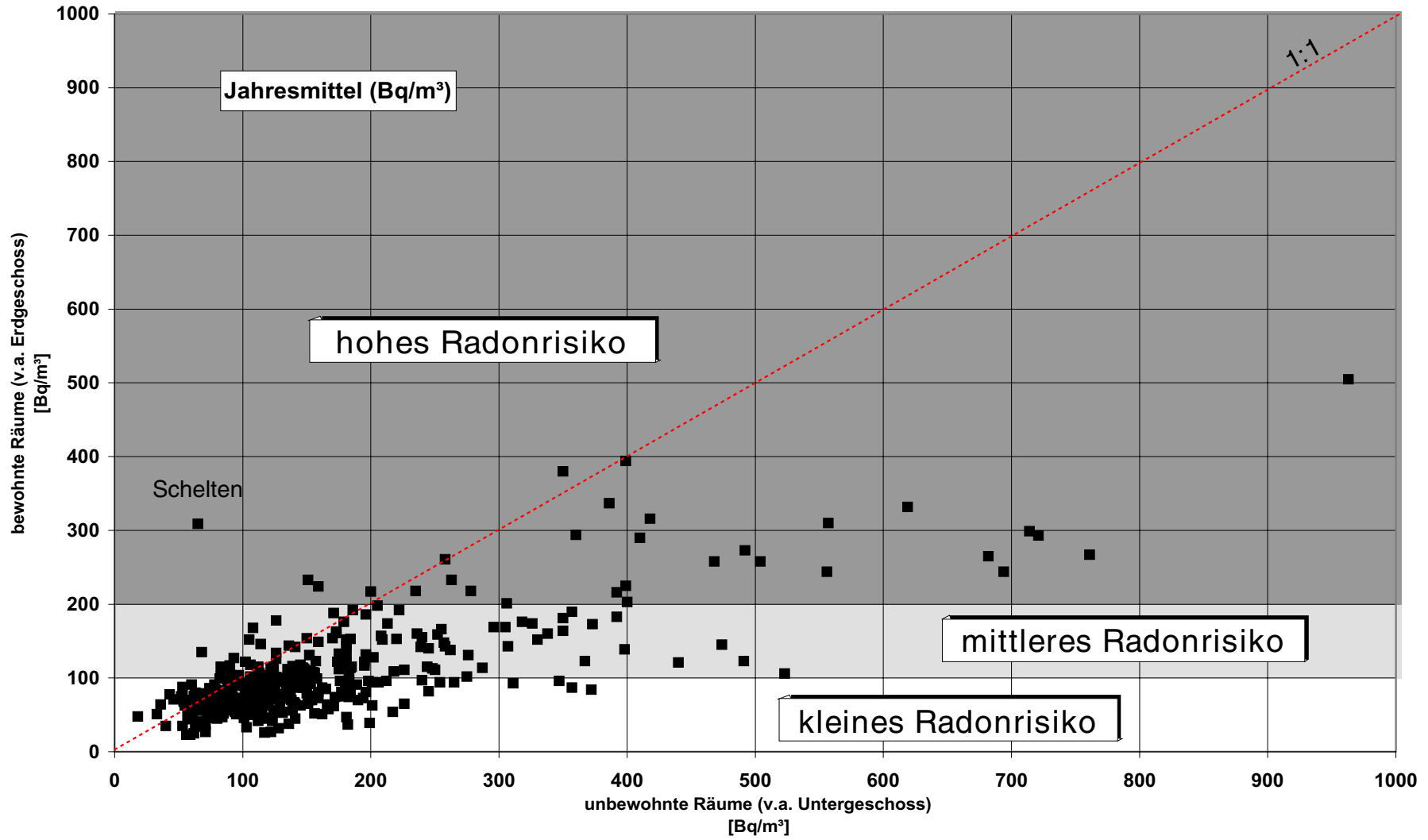
Karte VIII

-  Jungmoränen
-  Verwaschene Moränen
-  Glaziale Stauseebildung
-  Erratische Blöcke
-  Drumlin
-  Altmoräne
-  Plateauschotter
-  Ältere Seelandschotter
-  Rückzugsschotter
-  Alluviale Schotter
-  Alluv. Schuttkegel und Bergsturz

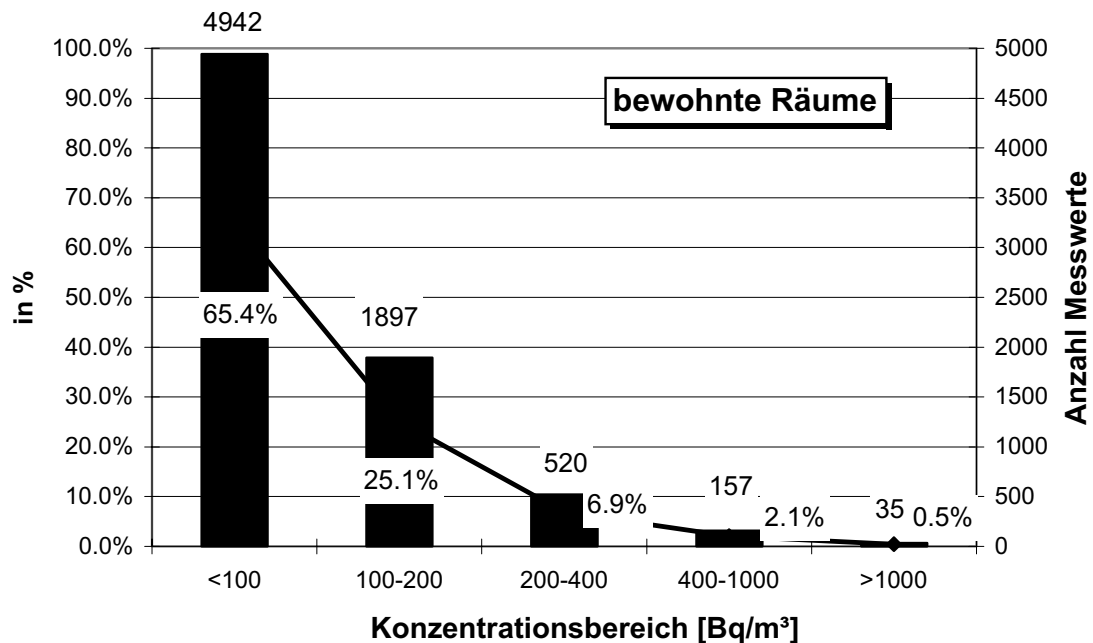


-  Geringes Radonrisiko ($\leq 100 \text{ Bq/m}^3$)
-  Mittleres Radonrisiko (101 - 200 Bq/m^3)
-  Hohes Radonrisiko ($> 200 \text{ Bq/m}^3$)

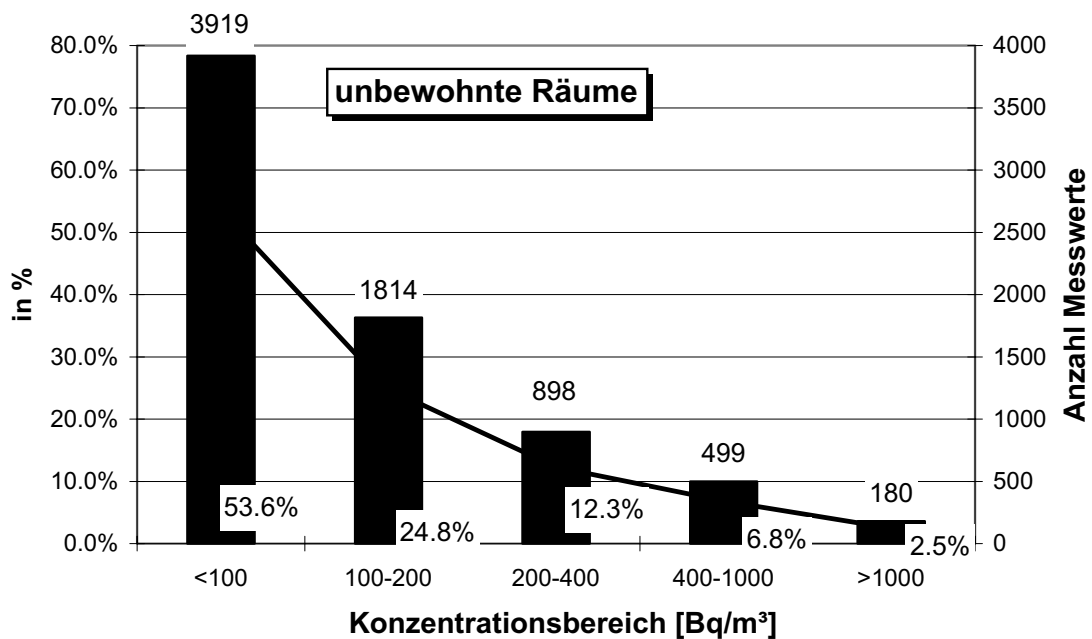
Gruppierung der Gemeinden aufgrund der Radonmittelwerte in bewohnten und unbewohnten Räumen



Konzentrationsbereiche aller Gemeinden des Kantons Bern

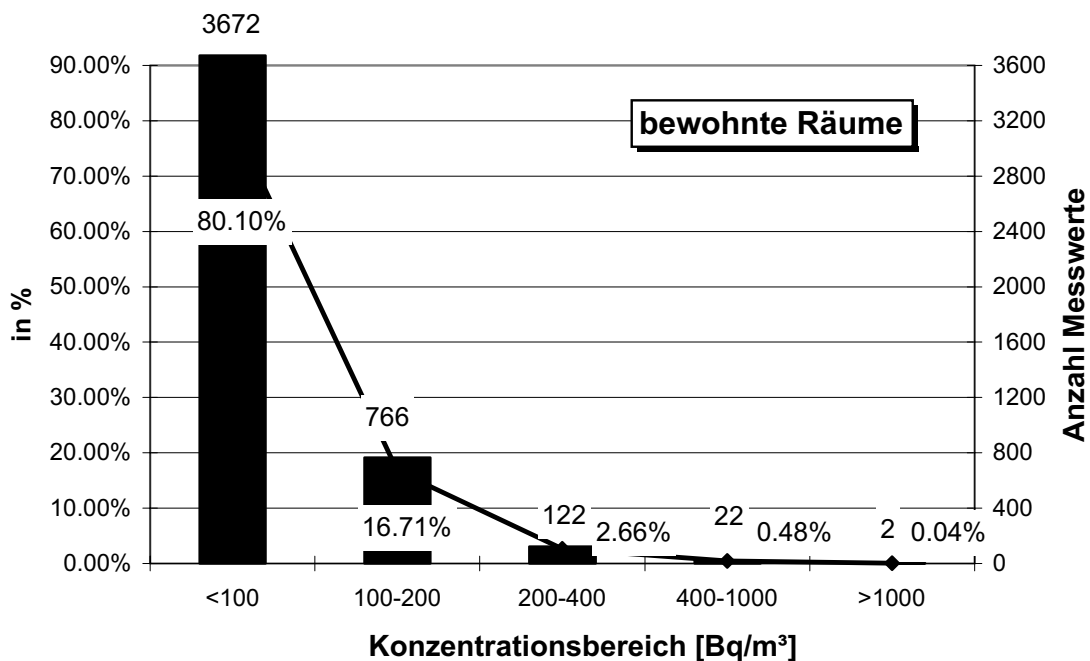


Konzentrationsbereiche in bewohnten Räumen aller Gemeinden des Kantons Bern.
Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

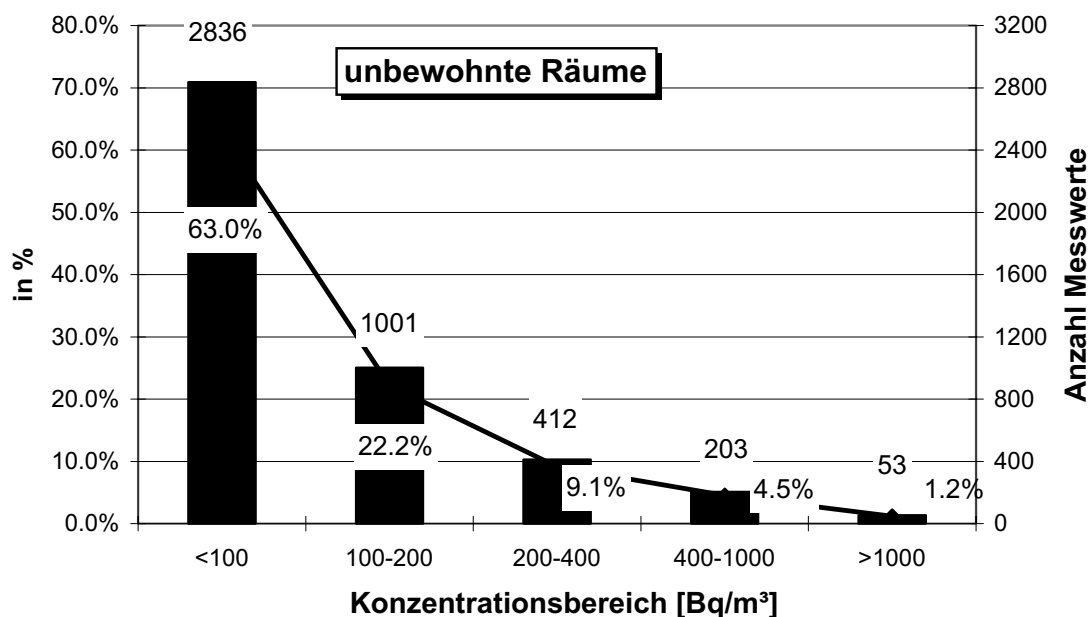


Konzentrationsbereiche in unbewohnten Räumen aller Gemeinden des Kantons Bern.
Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

Konzentrationsbereiche der Gemeinden mit geringem Radonrisiko

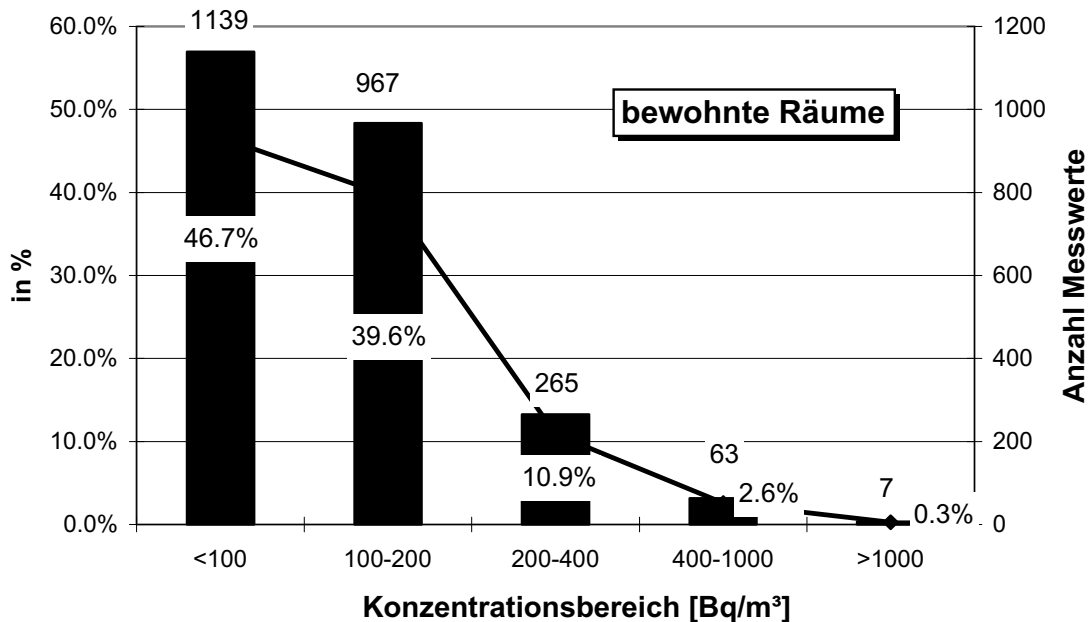


Konzentrationsbereiche in bewohnten Räumen der Gemeinden mit geringem Radonrisiko. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

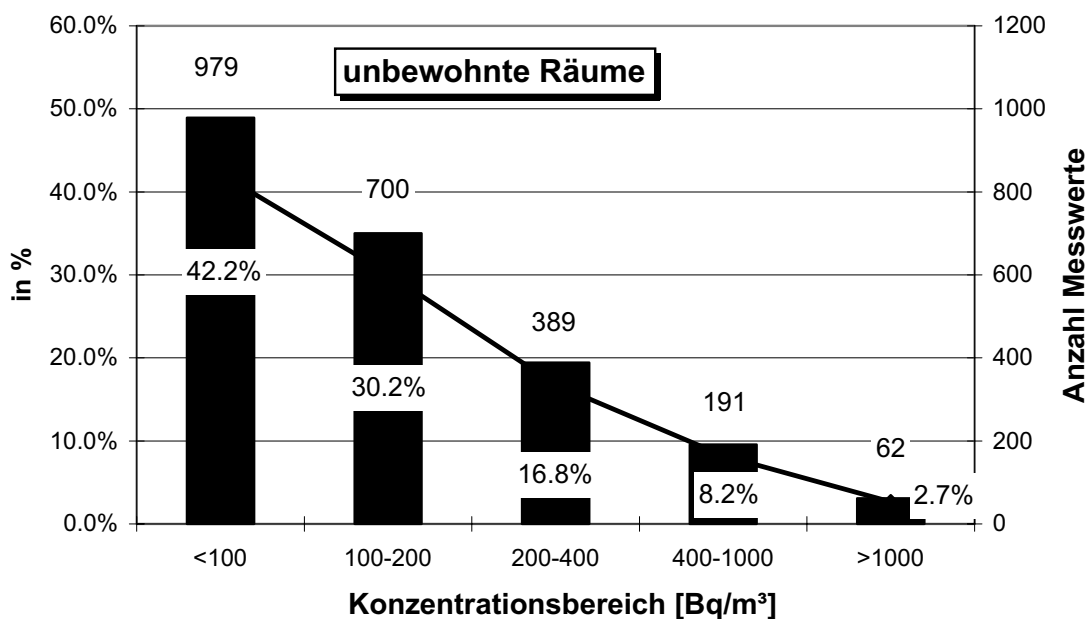


Konzentrationsbereiche in unbewohnten Räumen der Gemeinden mit geringem Radonrisiko. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

Konzentrationsbereiche der Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko

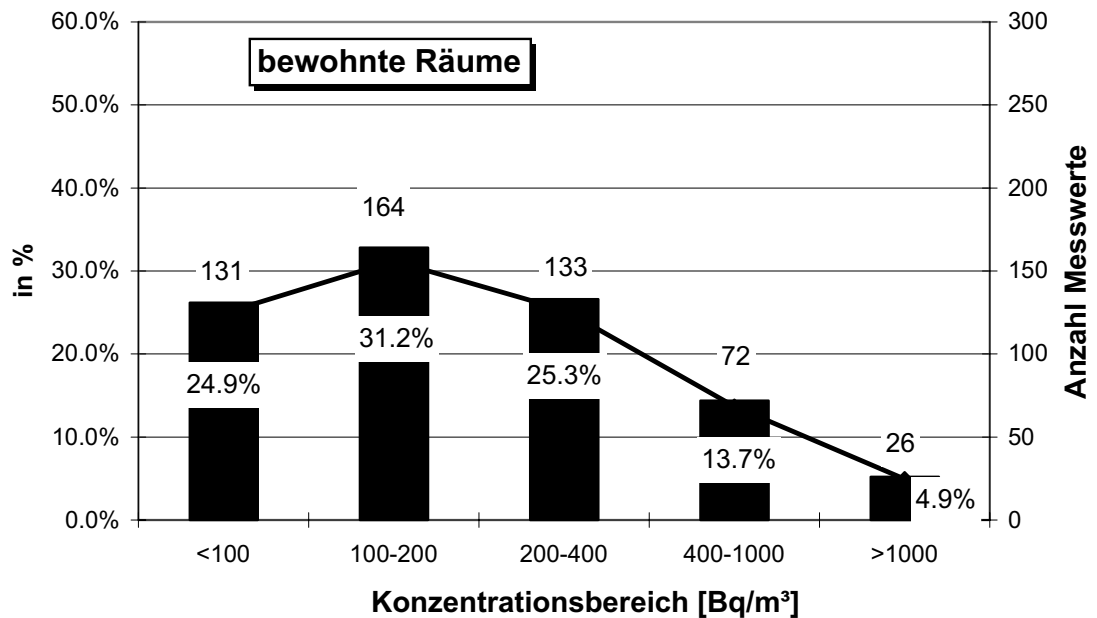


Konzentrationsbereiche in bewohnten Räumen der Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

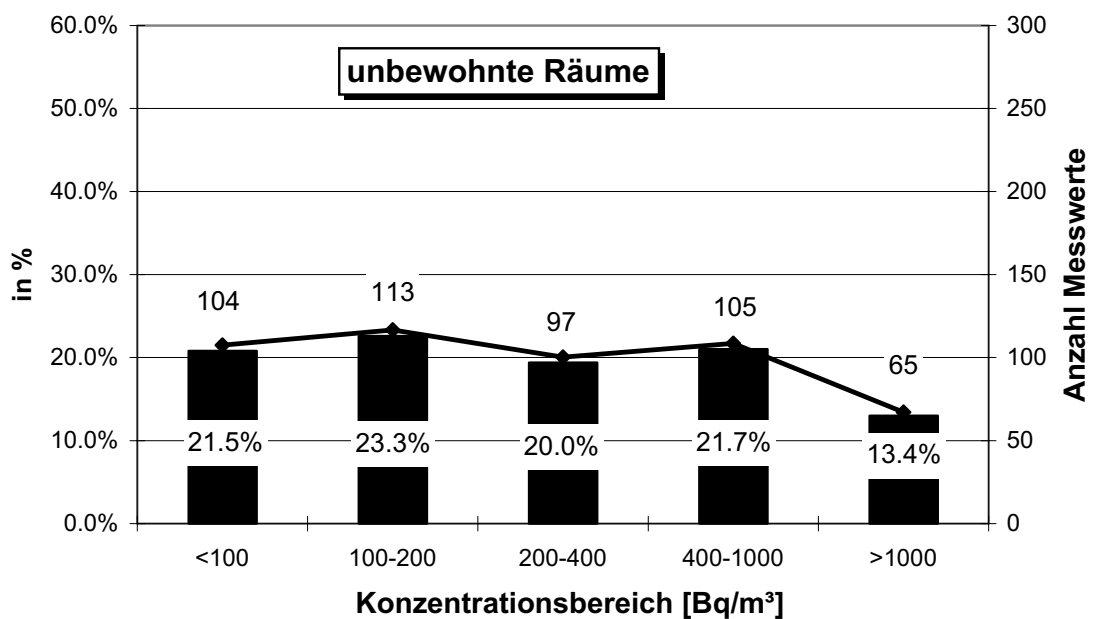


Konzentrationsbereiche in unbewohnten Räumen der Gemeinden mit mittlerem Radonrisiko. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

Konzentrationsbereiche der Gemeinden mit hohem Radonrisiko

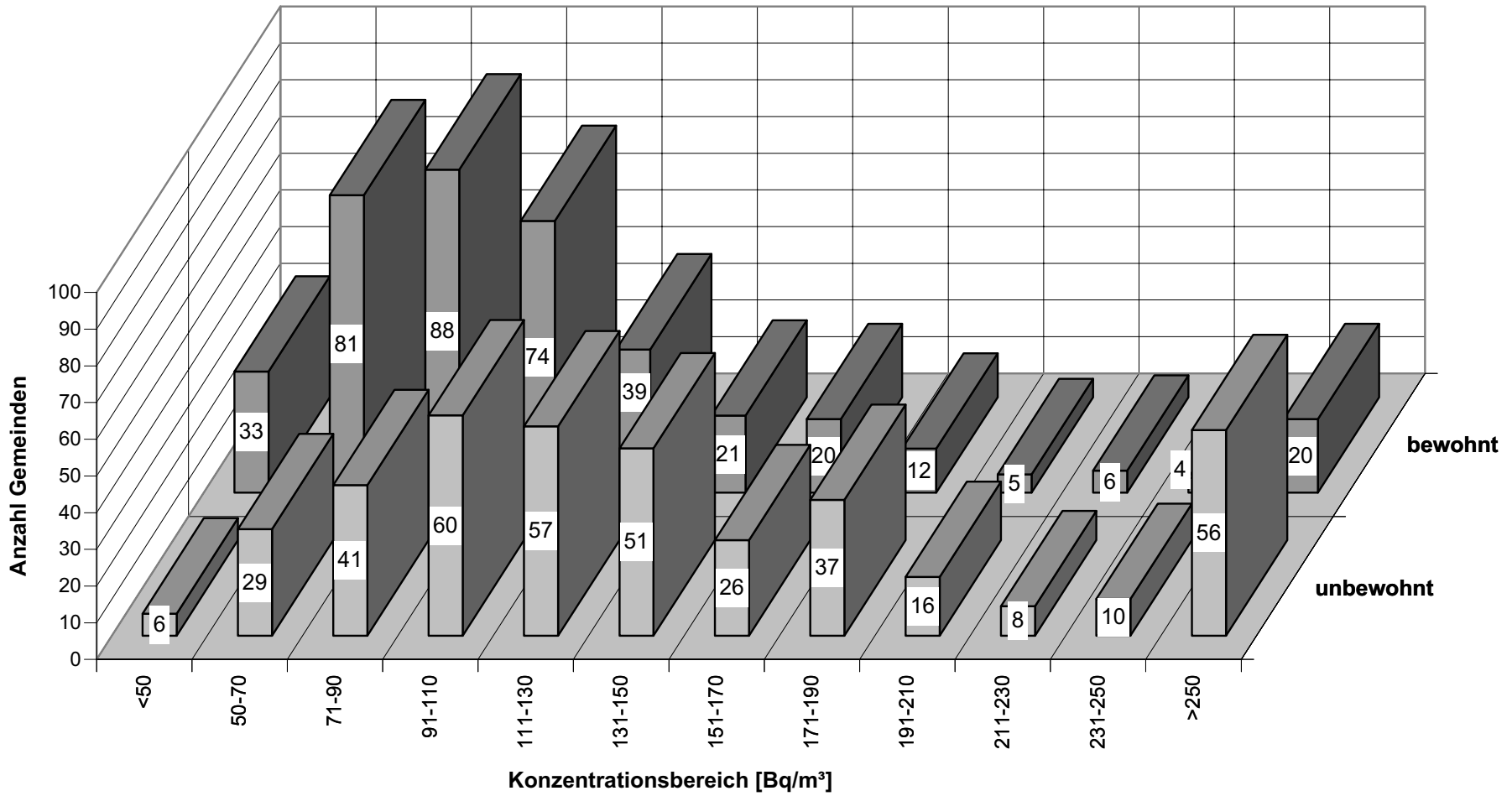


Konzentrationsbereiche in bewohnten Räumen der Gemeinden mit hohem Radonrisiko. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

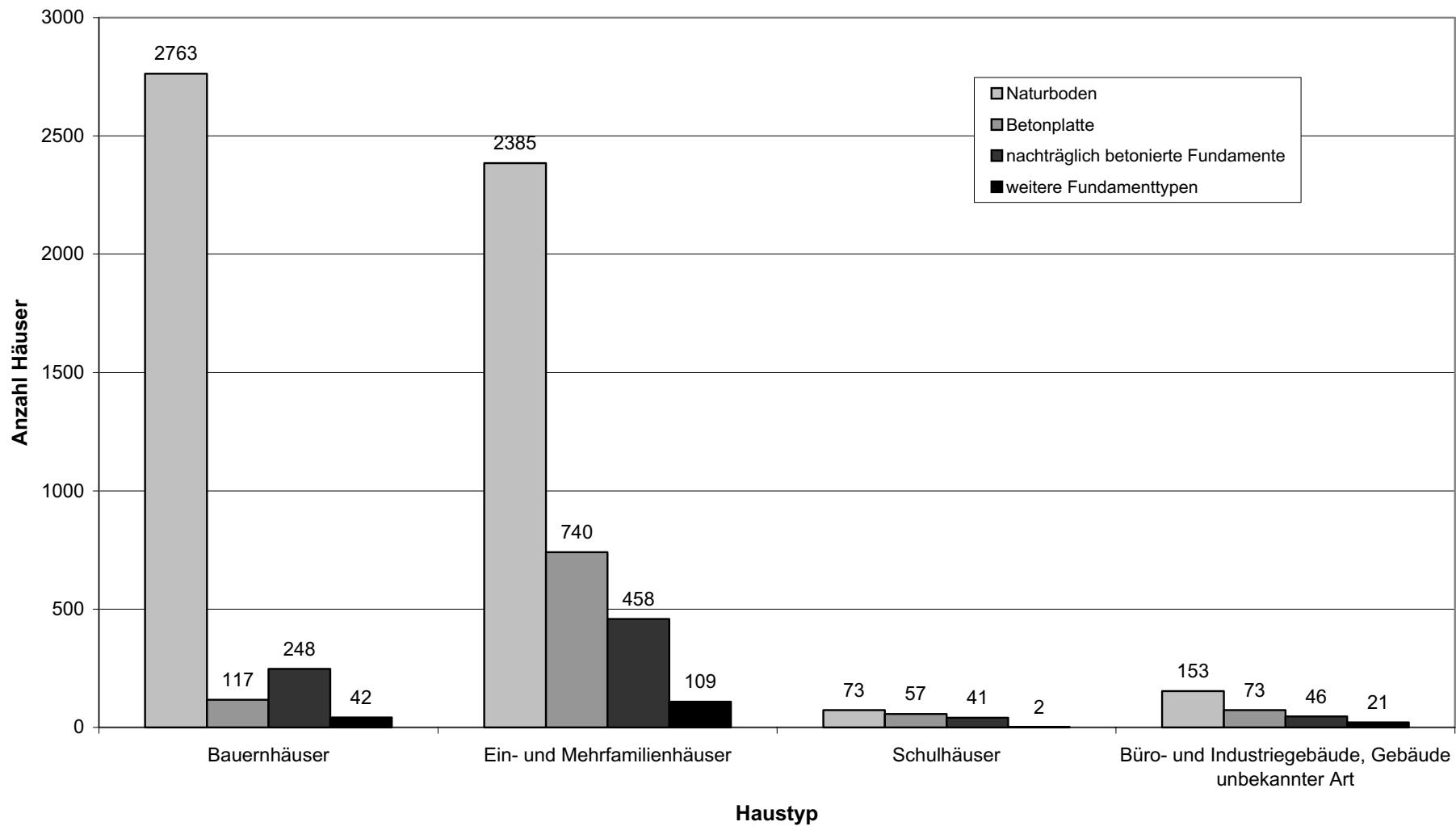


Konzentrationsbereiche in unbewohnten Räumen der Gemeinden mit hohem Radonrisiko. Angabe der Anzahl Messwerte pro Konzentrationsbereich und der prozentualen Anteile.

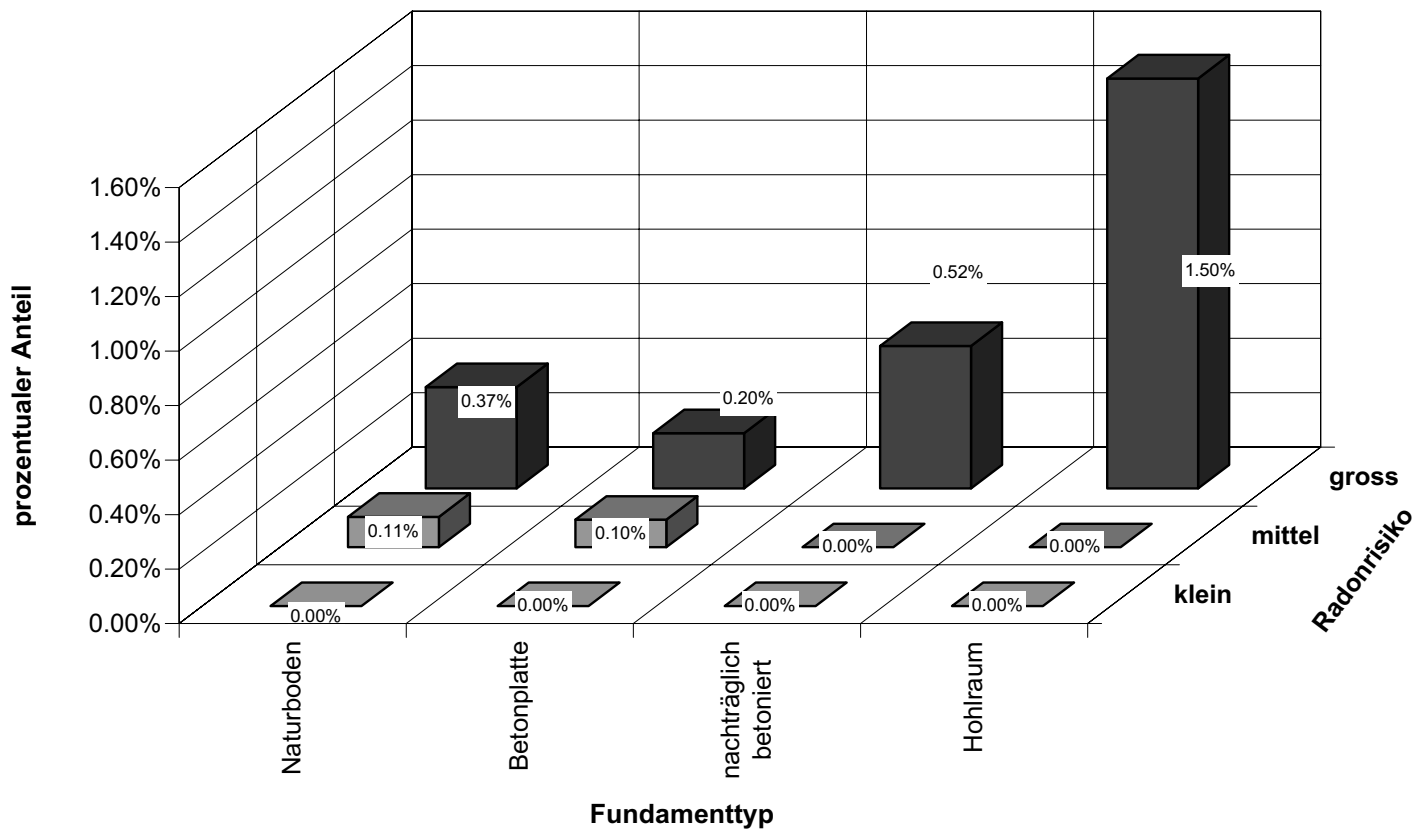
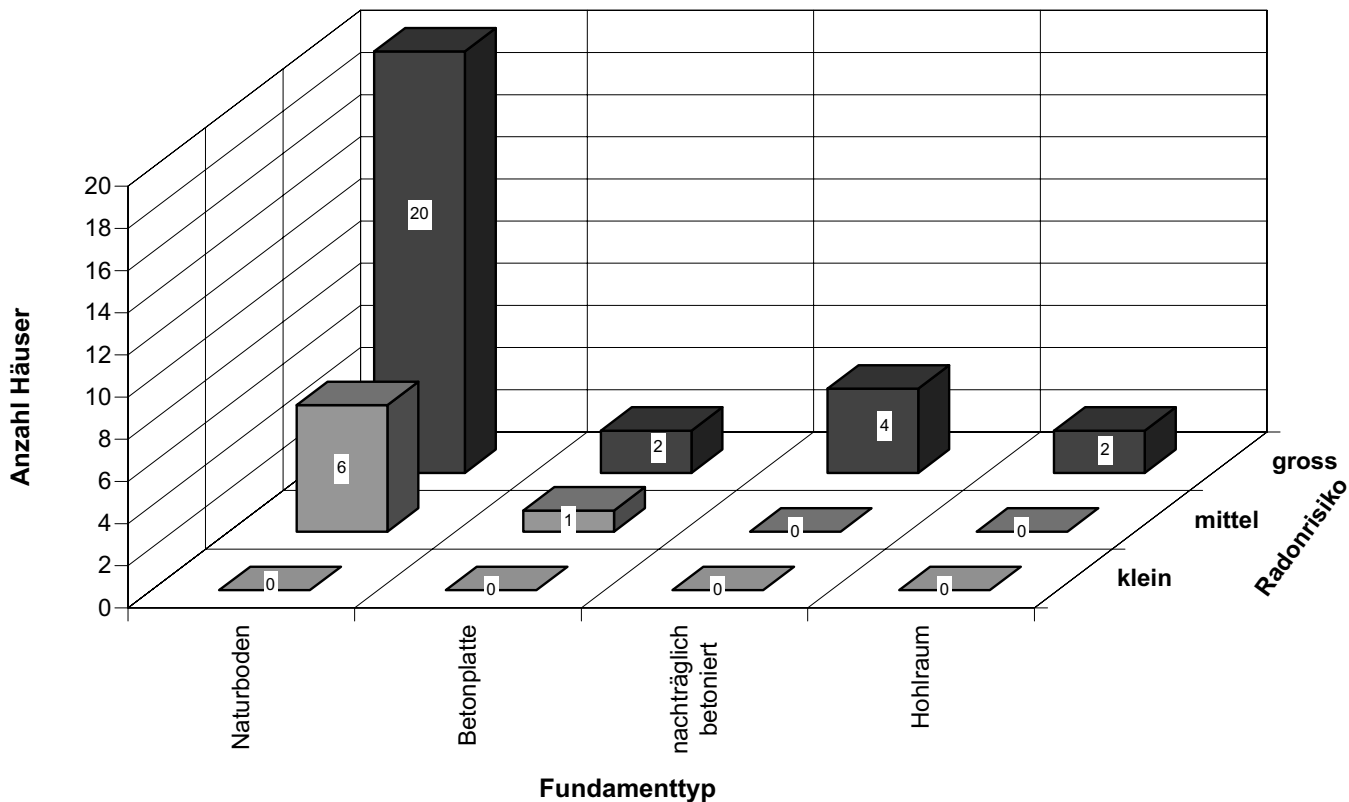
Säulendiagramm: Konzentrationsbereiche der Gemeindemittelwerten in bewohnten und unbewohnten Räumen



Darstellung der Haustypen mit den verschiedenen Fundamentarten



Fundamenttypen der Häuser mit Grenzwertüberschreitungen



Fundamenttypen der Häuser mit Richtwertüberschreitungen

