



Kemski & Partner
Beratende Geologen

**Radonmessungen in Gebäuden in Rheinland-Pfalz
(Landkreise Cochem-Zell, Kusel, Mayen Koblenz und Westerwaldkreis)**

Abschlussbericht

Kemski, J., Klingel, R.

Kemski & Partner
Beratende Geologen
Alte Heerstraße 1, D-53121 Bonn

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	1
1	Zielsetzung	3
2	Planung, Organisation und Durchführung der Messkampagne	4
2.1	Planung und Organisation der Messkampagne	4
2.1.1	Allgemeine Vorgehensweise	4
2.1.2	Auswahl der Häuser	5
2.1.3	Fragebogen	5
2.2	Durchführung der Messkampagne	6
2.2.1	Akquisition der Teilnehmer	6
2.2.2	Versendung der Messunterlagen	8
2.2.3	Datenerfassung	8
2.2.4	Geographische und geologische Zuordnung der Gebäude	8
2.2.5	Rücksendung der Exposimeter	9
2.2.6	Auswertung der Exposimeter	10
2.2.7	Weitergabe der Ergebnisse	10
3	Messmethodik	11
4	Ergebnisse	12
4.1	Baucharakteristik der Häuser	12
4.1.1	Hausart	12
4.1.2	Haustyp	13
4.1.3	Baualter	14
4.1.4	Baumaterial	15
4.1.5	Bautenschutz	19
4.1.6	Raumnutzung	21
4.2	Messergebnisse	23
4.2.1	Etage	23
4.2.2	Baumerkmale	29
4.2.3	Geologie und Radonkonzentration in der Bodenluft	35
5	Vergleich mit anderen Messkampagnen	61
6	Fazit	64

Einleitung

Im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben des Bundes wurde eine Karte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe in der Bundesrepublik Deutschland erarbeitet. Diese Karte kann als geologisches Prognoseinstrument für die Planung von Innenraummessungen herangezogen werden.

In den letzten Jahren wurden auf Basis dieser Karte in verschiedenen Regionen von Rheinland-Pfalz Raumlufmessungen nach einem standardisierten Verfahren durchgeführt. Dabei wurden schwerpunktmäßig Gebiete mit erhöhten Bodenluftkonzentrationen ($> 80 \text{ kBq/m}^3$) ausgewählt, weil hier mit einer deutlichen Überschreitung des EU-Planungswertes von 200 Bq/m^3 im Jahresmittel zu rechnen ist. Im Einzelnen liegen bereits Ergebnisse aus folgenden Regionen vor:

Landkreis	Auftraggeber	Zeitraum	Anzahl Haushalte
Trier-Saarburg	BfS	2000/2001	467
Bitburg-Prüm	MUF	2001/2002	257

(BfS = Bundesamt für Strahlenschutz, Forschungsvorhaben St. Sch. 4271,
MUF = Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz)

Auch in anderen Regionen des Landes Rheinland-Pfalz sind in der o.g. Karte erhöhte Bodenluftkonzentrationen ausgewiesen (z.B.: Neuwieder Becken, südlicher Hunsrück). Aus diesem Grund wurden vom Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz (MUF) in Absprache mit der Firma Kemski & Partner weitere vier regionale Untersuchungsschwerpunkte für Raumlufmessungen ausgewählt (Abb. 1). Im Einzelnen handelt es sich dabei um:

Landkreis	geplante Anzahl Haushalte
Cochem-Zell	60
Kusel	100
Mayen-Koblenz	250
Westerwaldkreis	90

In dem hier vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dieser Radonmessungen vorgestellt und erläutert. Die Ausarbeitung des Berichtes orientiert sich dabei an dem bereits vorliegenden Bericht der Messkampagne 2001/2002. Einzelne beschreibende Kapitel, z.B. zur Vorgehensweise, wurden ohne wesentlichen Änderungen aus dem o.g. Bericht entnommen, da die inhaltlichen Aussagen vollständig übereinstimmen. In

einer zusammenfassenden Betrachtung erfolgt eine Gegenüberstellung zu den Resultaten aus den beiden o.g. früheren Messkampagnen.

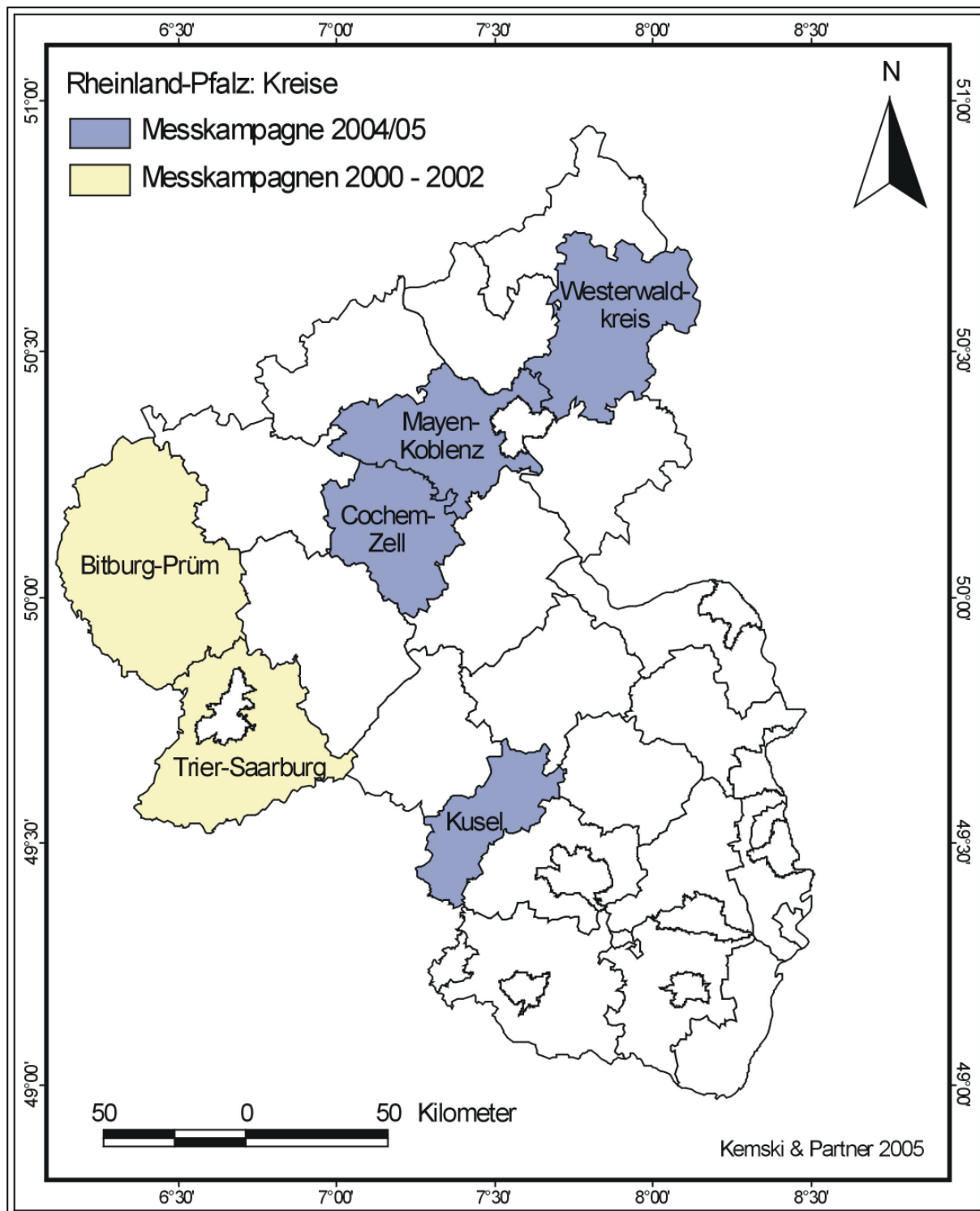


Abb. 1
Untersuchungsgebiete in Rheinland-Pfalz

1 Zielsetzung

Die Raumlufmesskampagne wurde nach den fachlichen Vorgaben des Ministeriums für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz und nach der vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) bei derartigen Messungen angewandten Vorgehensweise durchgeführt. Ziel war die Bestätigung der geologischen Prognose erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden mit Hilfe von Raumlufmessungen. Es sollte eine statistische Auswertung der gewonnenen Messwerte unter Berücksichtigung der Bauweise der Häuser und eine kartographische Darstellung erfolgen. Dabei wurde auch der relative Anteil an Gebäuden abgeschätzt, in denen der europäische Planungs- bzw. Referenzwert von 200 bzw. 400 Bq/m³ im Jahresmittel in Aufenthaltsräumen überschritten wird. Ergänzend wurden die Überschreitungshäufigkeiten für den von der Bundesregierung geplanten Zielwert von 100 Bq/m³ sowie für den in der Bau-richtlinie vorgesehenen Grenzwert von 1.000 Bq/m³ angegeben.

Es wurden nicht alle Gemeinden in den o.g. Landkreisen untersucht, sondern es erfolgte eine gezielte Auswahl nach geologischen Gesichtspunkten. Die Verteilung der Haushalte auf die Untersuchungsgebiete orientierte sich an der Einwohnerzahl. Es musste nicht in jeder Gemeinde eine vorgegebene Anzahl von Haushalten untersucht werden, sondern es sollte eine Betrachtung und Bewertung der jeweiligen Gebiete erfolgen.

Die organisatorischen Einzelheiten zur Durchführung der Messungen wurden durch den Auftragnehmer mit den jeweils zuständigen Kreis- und/oder Gemeindebehörden abgesprochen.

Die Messungen erfolgten mit Hilfe von Festkörperspurdetektoren (Exposimeter) nach DIN 25 706, Teil 1. Die Messdauer betrug ein Jahr. In jedem Haus sollten je ein Exposimeter im Erdgeschoss im Hauptaufenthaltsraum und ein Exposimeter im Keller - wenn möglich, auch in einem Aufenthaltsraum - exponiert werden. In einem Fragebogen wurden Daten zur Bauweise und Nutzung des Hauses erhoben.

2 Planung, Organisation und Durchführung der Messkampagne

2.1 Planung und Organisation der Messkampagne

2.1.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die Bearbeitung des Vorhabens lässt sich in mehrere Phasen untergliedern, die zeitlich z.T. aufeinander folgend, z.T. parallel bearbeitet wurden. In allen Phasen des Vorhabens wurden der notwendige Datenschutz und die Datensicherheit gewährleistet.

- Phase 1:
In Phase 1 wurden die Messkampagne unter Berücksichtigung der Vorgaben des Ministeriums für Umwelt und Forsten geplant und unter Mitwirkung der zuständigen Kreisverwaltung die Teilnehmer akquiriert.
- Phase 2:
In Phase 2 wurden die Exposimeter, der Fragebogen und eine Aufstellungsanleitung auf dem Postweg an die teilnehmenden Haushalte verschickt. Die Teilnehmer wurden gebeten, den Fragebogen unmittelbar nach Beginn der Messung zurückzusenden; ein Freiumschlag wurde dem Anschreiben beigelegt. Erfolgte innerhalb von 6 bis 8 Wochen nach Versendung der Exposimeter keine Rückmeldung durch die Teilnehmer, wurde eine gezielte Nachfrage gestartet.
- Phase 3:
In Phase 3 erfolgte die Datenerfassung. Unmittelbar nach Rücksendung der Fragebögen wurde zunächst die Vollständigkeit der Angaben kontrolliert, fehlende Informationen wurden ggf. nachträglich eingeholt. Die Daten wurden auf Plausibilität und Konsistenz geprüft. Teilnehmer, die sich nicht zurückmeldeten, wurden gezielt per Brief, telefonisch oder auf elektronischem Wege angesprochen.
- Phase 4:
In Phase 4 wurden die Exposimeter auf dem Postweg eingesammelt und zur Auswertung an den Unterauftragnehmer weitergeleitet. Diese Phase wurde um ein Jahr zeitversetzt zur Phase 2 durchgeführt. Unmittelbar nach Erhalt der Messergebnisse wurden die Teilnehmer durch die Firma Kemski & Partner gemäß den Vorgaben des Auftraggebers über die Messergebnisse informiert.
- Phase 5:
In Phase 5 wurden die Messergebnisse und Dateneingaben einer abschließen-

den Qualitätskontrolle unterzogen und die gewünschten statistischen Parameter ermittelt. Anschließend wurden die Ergebnisse zusammenfassend in einem Abschlussbericht dokumentiert.

2.1.2 Auswahl der Häuser

Die Auswahl der Häuser erfolgte nach einer einheitlichen Vorgehensweise. Bei den untersuchten Gebäuden sollte es sich aus Gründen der Vergleichbarkeit um Wohnhäuser handeln; öffentliche Gebäude sollten wegen der oftmals unterschiedlichen Bauweise und Nutzung nicht untersucht werden. Von besonderem Interesse waren Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften oder Reihenhäuser. Bauweise und Alter spielten keine Rolle. In jedem Haus wurden nach Möglichkeit zwei Exposimeter exponiert. Vorrangig sollte die Aktivitätskonzentration im Hauptaufenthaltsraum des Erdgeschosses ermittelt werden, da sich die Empfehlungen der nationalen und internationalen Strahlenschutzbehörden auf Aufenthaltsräume beziehen. Weil der geologische Untergrund die Hauptquelle des Radon in Gebäuden darstellt, sollte parallel dazu die Radonkonzentration in einem Kellerraum mit erdberührten Wänden gemessen werden. Die Wahl der Räume wurde den Teilnehmern freigestellt; die Exposimeter sollten nicht in Räumen exponiert werden, in denen mit einem überdurchschnittlich hohen Luftaustausch zu rechnen ist (z.B.: Küche, Badezimmer, Flur, Waschküche, Heizungskeller). Während der gesamten Messzeit sollten die Räume in der üblichen Art und Weise genutzt werden.

2.1.3 Fragebogen

Der bereits bei den vorangegangenen Untersuchungen verwendete Fragebogen zur Bauweise und Nutzung des Hauses wurde auch bei dieser Messkampagne verwendet, aber durch Fragen zum Baumaterial ergänzt (Anhang A). Besonderes Augenmerk wurde auf Faktoren gelegt, die für den Radonübertritt aus dem Baugrund ins Gebäude von Bedeutung sind (z.B.: Hang- oder Tallage des Hauses, Anzahl erdberührter Keller- und Erdgeschossräume, Bauweise des Kellers, Vorhandensein eines Feuchteschutzes im Keller).

2.2 Durchführung der Messkampagne

2.2.1 Akquisition der Teilnehmer

Die Akquisition der Teilnehmer wurde mit Hilfe der zuständigen Kreis-, Verbandsgemeinde- bzw. Gemeindeverwaltungen organisiert. Zusätzlich wurden Aufrufe zur Teilnahme in der örtlichen Presse geschaltet und in lokalen Rundfunk- und Fernsehsendungen bekannt gemacht. Nach Abschluss der Akquisition ergab sich die in Tabelle 1 aufgelistete Verteilung der teilnehmenden Haushalte auf die vier Untersuchungsgebiete; in Anhang B ist die Verteilung der Haushalte auf die Gemeinden innerhalb der Untersuchungsgebiete zusammengestellt. Nach Absprache mit dem Auftraggeber wurden geringfügige Verschiebungen der Teilnehmerzahlen innerhalb der vier Gebiete vorgenommen; die angestrebte Gesamtzahl von 500 Haushalten wurde dabei jedoch eingehalten.

Landkreis	Anzahl Anmeldungen	Soll
Cochem-Zell	59	60
Mayen-Koblenz	241	250
Westerwaldkreis	96	90
Kusel	104	100
Summe	500	500

Tab. 1
Anzahl der Teilnehmer in den vier Landkreisen

In Abb. 2 ist die räumliche Verteilung aller Messorte dargestellt.

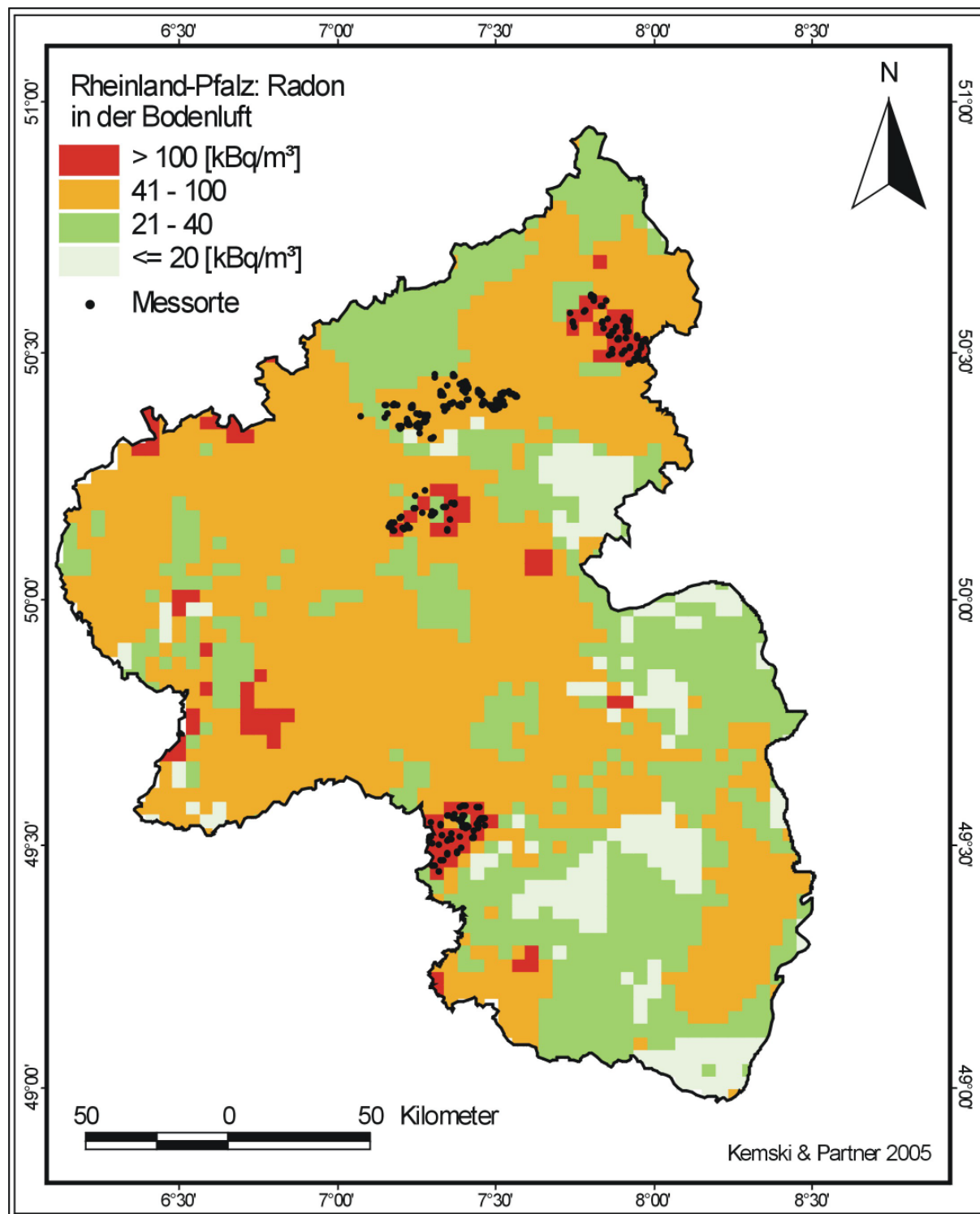


Abb. 2

Verteilung der Messorte in den vier Untersuchungsgebieten; Hintergrund: Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft (Auszug aus der Deutschland-Karte)

2.2.2 Versendung der Messunterlagen

Nach Sammlung der Adressen interessierter Haushalte erfolgte die Zusammenstellung der notwendigen Messunterlagen, die gemeinsam mit den Exposimetern verschickt wurden. Die Auslieferung erfolgte auf dem Postweg. Jeder Teilnehmer an der Messkampagne erhielt ein Anschreiben, in dem die Ziele des Vorhabens sowie die notwendigen Informationen für die ordnungsgemäße Durchführung der Messung erläutert wurden, zwei Exposimeter, eine Aufstellungsanleitung, einen Begleitzettel, auf dem aus Qualitätssicherungsgründen Aufstellort und Messdauer noch einmal separat notiert werden sollten, sowie den o.g. Fragebogen.

Die Teilnehmer wurden gebeten, den Fragebogen unmittelbar nach Beginn der Messung zurückzusenden; ein Freiumschlag war dem Anschreiben beigelegt. Nach Versendung der Exposimeter wurde zeitnah in regelmäßigen Abständen routinemäßig geprüft, ob der Fragebogen zurückgesandt worden war und die Teilnehmer mit den Messungen begonnen haben, ggf. erfolgte eine Nachfrage und Erinnerung. Nach Ablauf der Expositionszeit wurden die Exposimeter auf postalischem Wege eingesammelt und zur Auswertungsstelle weitergeleitet.

2.2.3 Datenerfassung

Bei der Datenerfassung wurden die Vollständigkeit und die Qualität der Angaben im Fragebogen geprüft. In ca. 95 % aller Fälle waren die Angaben der Teilnehmer vollständig bzw. es bedurfte nur geringer Korrekturen. Lediglich in ca. 5 % aller Fälle mussten einige bzw. zahlreiche Ergänzungen vorgenommen werden.

2.2.4 Geographische und geologische Zuordnung der Gebäude

Besondere Bedeutung kommt der exakten räumlichen Lokalisierung des Hauses zu, in dem die Radonmessung stattgefunden hat („Geocodierung“). Erst dadurch wird eine verlässliche Zuordnung zu den oft kleinräumig wechselnden geologischen Einheiten im Untergrund ermöglicht. Für jedes Gebäude wurde eine geographische Koordinate (Rechts-/Hochwert) ermittelt. Diese Koordinaten stellen die Basis für die Darstellung der räumlichen Verteilung der untersuchten Gebäude innerhalb der Untersuchungsgebiete dar. Auf diese Weise wurde die Position von ca. 95 % aller Häuser mindestens straßengenau und von ca. 5 % ortsgenau bestimmt.

Auf Grundlage der Hauskoordinaten wurde auch eine Zuordnung der Gebäude zu generalisierten geologischen Einheiten durchgeführt. Kartengrundlage bildeten die geologischen Karten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) im Maßstab 1 : 200.000 (GK 200-Blätter: CC 5502 Köln, CC 5510 Siegen, CC 6302 Trier, CC 6310 Frankfurt am Main/West, CC 7102 Saarbrücken, CC 7110 Mannheim). Jedem Haus wurde eine generalisierte geologische Einheit zugeordnet; vorher erfolgte eine Zusammenfassung geologischer Einheiten nach radon-relevanten Gesichtspunkten. Inhaltliche Unstimmigkeiten an den Blatträndern („Blattrandverwerfungen“) wurden nicht korrigiert, sondern aus dem Originaldatenmaterial der BGR übernommen!

Des weiteren wurde auf Basis der Deutschland-Karte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft jedem Gebäude der interpolierte Bodenluftwert desjenigen Rasterelementes zugeordnet, in dem das Haus liegt. Diese Vorgehensweise wurde bei den anderen o.g. Projekten in gleicher Art und Weise durchgeführt. Für die Messkampagne 2001/2002 stand eine detailliertere Karte mit einem 1 x 1 km-Raster aus früheren Forschungsarbeiten zur Verfügung. Diese Detailkarten besitzen nicht nur eine höhere Auflösung, was die geologische Zuordnung betrifft, sondern sind aufgrund des ursprünglichen Forschungszieles mit deutlich mehr Messungen in der Bodenluft je Flächeneinheit gestützt, als dies für die bundesdeutsche Karte mit Rasterelementgrößen von ca. 3 x 3 km der Fall ist. In diesem Bericht werden Vergleiche mit anderen Gebieten daher aufgrund dieser generalisierten Karte durchgeführt, die für die ganz Deutschland in gleicher Qualität vorliegt.

2.2.5 Rücksendung der Exposimeter

Nach Ablauf der Expositionszeit von 12 Monaten wurden die Messgeräte per Post zurückgefordert, dafür wurde den Teilnehmern rechtzeitig ein Freiumschlag zugeschickt. Es zeigte sich, dass die Rücklaufquote im Vergleich zu ähnlichen Messkampagnen in anderen Bundesländern und zur Kampagne in den Landkreisen Bitburg-Prüm und Trier-Saarburg mit insgesamt über 90 % sehr hoch ist (Tab. 2).

Landkreis	Anmeldungen	Rücksendung	Quote
Cochem-Zell	59	55	93,2
Mayen-Koblenz	241	222	92,1
Westerwaldkreis	96	88	91,7
Kusel	104	94	90,4
Summe	500	459	91,8

Tab. 2
Rücklaufquote in den vier Landkreisen

2.2.6 Auswertung der Exposimeter

Die Bereitstellung und Auswertung der Exposimeter erfolgte durch die Firma Gam-madata, Uppsala/Schweden. Die Auswertung der Exposimeter erfolgte anonymisiert und dauerte in der Regel zwischen 2 und 3 Wochen.

2.2.7 Weitergabe der Ergebnisse

Unmittelbar nach der Auswertung wurden die Messergebnisse in einer vorher mit dem Auftraggeber abgestimmten Form durch die Firma Kemski & Partner an die Teilnehmer weitergeleitet. Jeder Teilnehmer bekam zusätzlich zu den Ergebnissen eine standardisierte Bewertung, die vom Ministerium für Umwelt und Forsten erar-beitet wurde (Anhang C).

3 Messmethodik

Die Raumluftradonmessungen erfolgten nach DIN 25706, Teil 1 mit Kernspurdetektoren. Der Lieferant mussten seine Qualifikation durch die erfolgreiche Teilnahme an nationalen und internationalen Ringvergleichen in anerkannten Institutionen (z.B.: BfS, PSI, NRPB) innerhalb der letzten Jahre nachweisen.

Die Exposimeter wurden einzeln in luftdicht verpackten Tüten geliefert, Tüte und Exposimeter waren mit einer eindeutigen Exposimeternummer versehen. Die untere Nachweisgrenze des Messverfahrens liegt bei einjähriger Exposition bei 15 Bq/m^3 , die obere Bestimmungsgrenze deutlich über 10.000 Bq/m^3 .

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden landkreisbezogen dargestellt, da aufgrund der vorgegebenen Fallzahlen die Messpunktdichte in einzelnen Gemeinden für eine sinnvolle Auswertung zu gering ist. Die charakteristischen statistischen Kennzahlen der untersuchten Landkreise sind in Anhang D in jeweils einem Tabellenblatt zusammengefasst.

4.1 Baucharakteristik der Häuser

4.1.1 Hausart

Aufgrund der Zielsetzung dieses Projektes wurde der Untersuchungsschwerpunkt auf Wohngebäude gelegt, die für den ländlichen Bereich und Stadtrandlagen in Deutschland typisch sind. Dazu zählen insbesondere Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften und Reihenhäuser. Mehrfamilienhäuser wurden ebenfalls berücksichtigt, hier wurde allerdings darauf geachtet, dass vornehmlich Messräume im Erdgeschoss und nur in Ausnahmefällen in der 1. Etage untersucht wurden. Die Einbeziehung großer Wohnanlagen sowie dichter innerstädtischer Bebauung war nicht vorgesehen. In einigen Fällen wurden auf Wunsch der betroffenen Gemeinden auch öffentliche Gebäude in die Untersuchung einbezogen. Die Verteilung der Hausart ist in Abbildung 3 dargestellt. Freistehende Einfamilienhäuser überwiegen deutlich mit ca. 50 bis 90 % aller Wohngebäude. Die übrigen Hausarten sind je nach Landkreis mit wechselnden Anteilen zwischen 2 und 18 % vertreten.

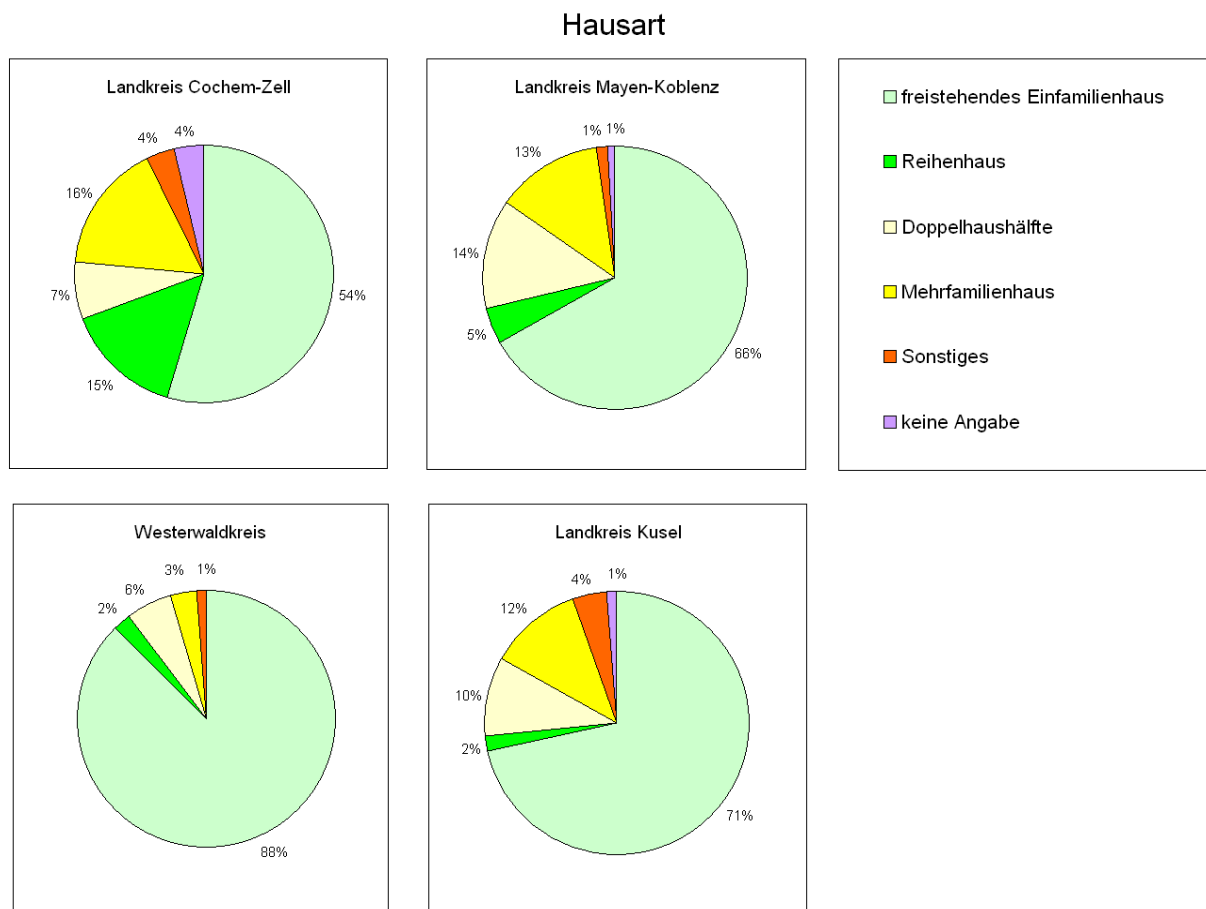


Abb. 3
 Prozentuale Anteile der Hausarten

4.1.2 Haustyp

Die Haustypen wurden nach Geländemorphologie und Art der Unterkellerung unterschieden (Abb. 4). Dabei variieren die Anteile der verschiedenen Haustypen erheblich. Während im Westerwaldkreis nur etwa 50 % aller Häuser voll unterkellert sind, trifft dies für den Landkreis Mayen-Koblenz für 80 % der Häuser zu. Der Anteil nicht unterkellerten Gebäude variiert zwischen 2 und 17 %.

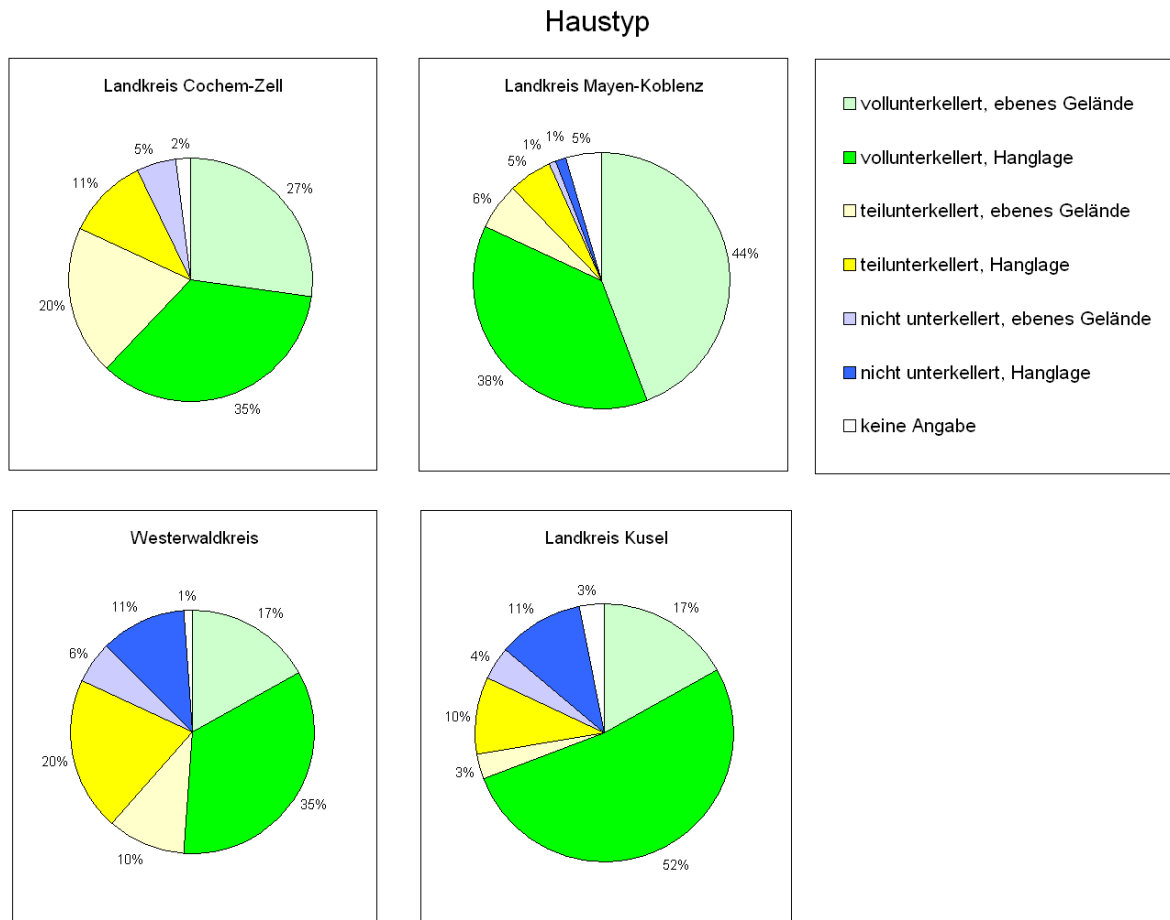


Abb. 4
Prozentuale Anteile der Haustypen

4.1.3 Baualter

Auch im Baualter unterscheiden sich die Landkreise deutlich (Abb. 5). Der Landkreis Mayen-Koblenz und der Westerwaldkreis besitzen hohe Anteile an jungen Häusern (nach 1960 erbaut), während in den beiden anderen Landkreisen der Anteil an alten Häusern (vor 1920 erbaut) mit jeweils ca. 30 % sehr hoch ist.

Baualter

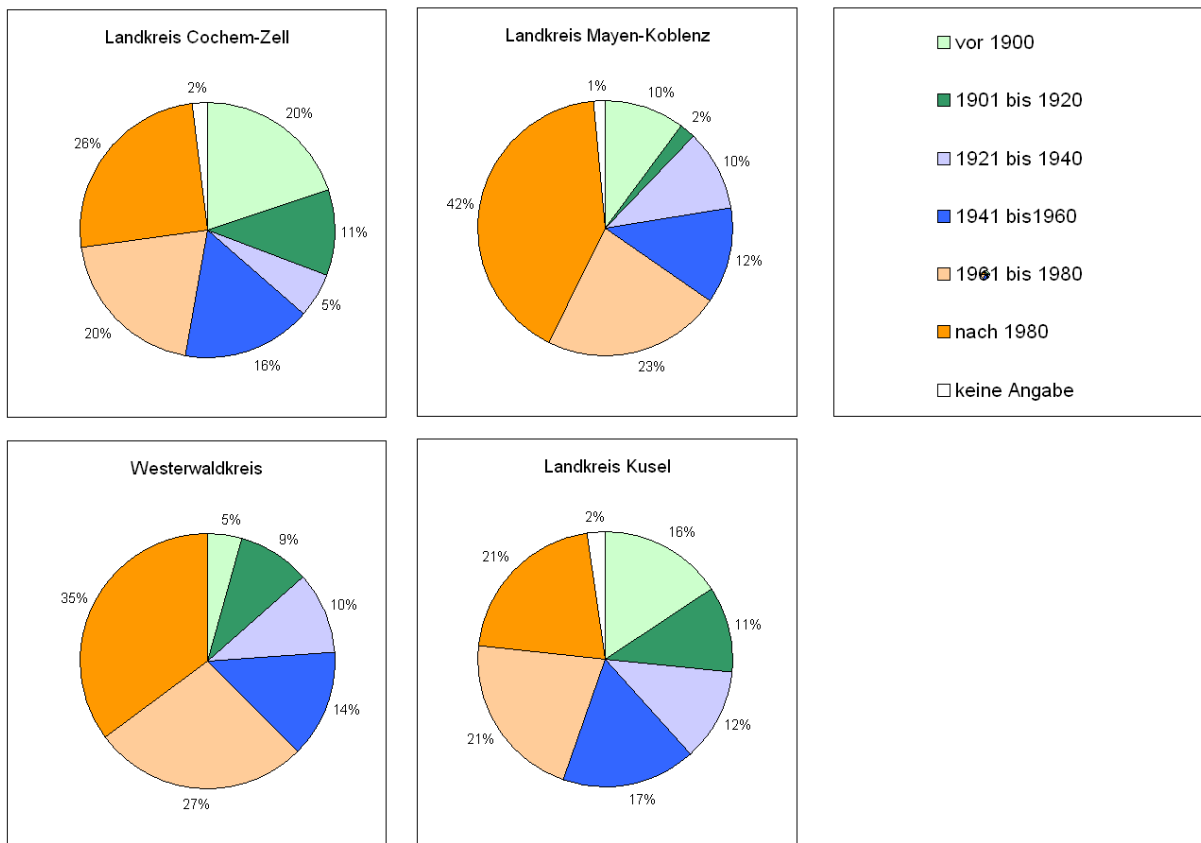


Abb. 5
 Prozentuale Anteile der Hausalter

4.1.4 Baumaterial

Eine Einordnung der Häuser nach der Art der verwendeten Baumaterialien gestaltet sich naturgemäß schwierig, da in den meisten Häusern mehrere Baustoffe zum Einsatz kommen (Abb. 6 und 7). Aus Sicht des Radonschutzes ist vor allem der Einsatz von Natursteinen sowie von anderen radonemanierenden Baustoffen im konstruktiven Hausbau zu berücksichtigen. Als Beispiel für die Fülle der Daten seien nachfolgend die verschiedenen Baumaterialien für die Hausaußenwände und Kellerwände aufgeführt. Klar zu erkennen ist der hohe Anteil an Bims- und Trasszementblöcken, der im „Heimatkreis“ des Bimses, im Landkreis Mayen-Koblenz am höchsten ist.

Baumaterial Hauswände

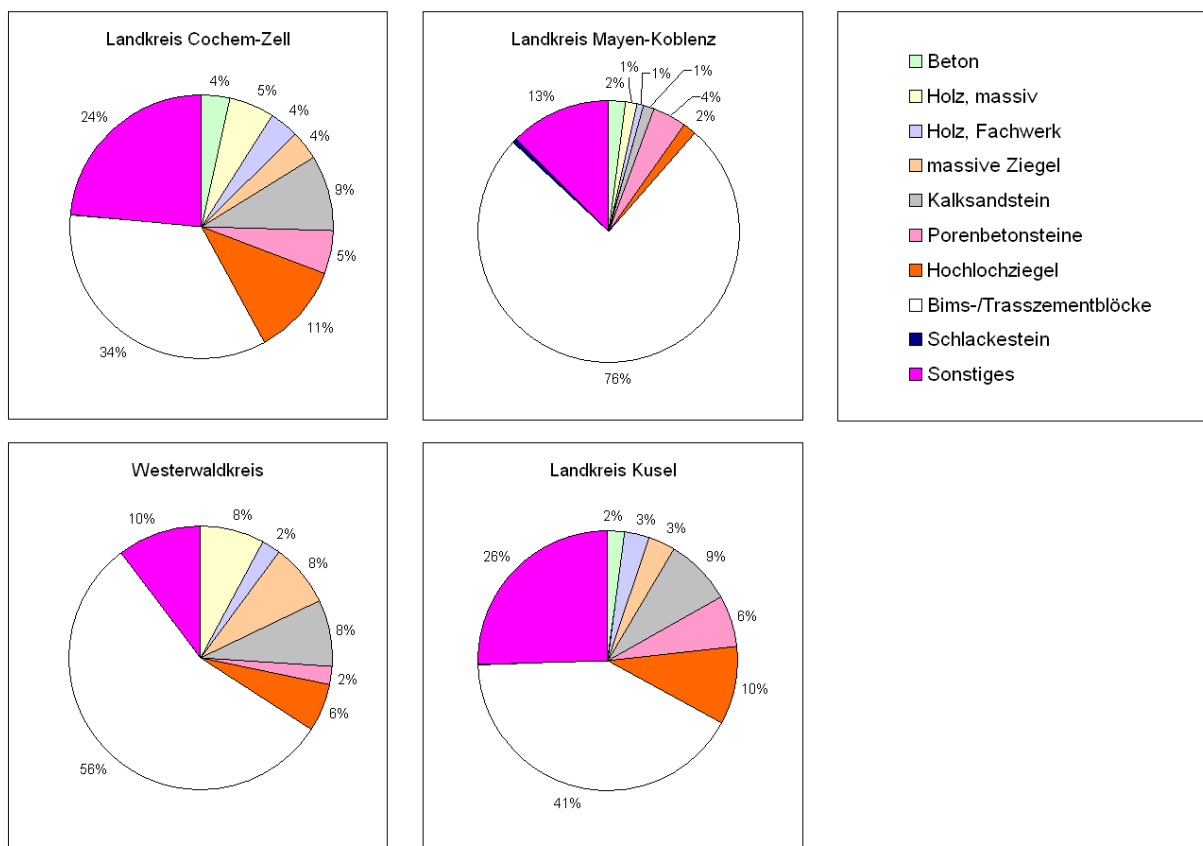


Abb. 6
 Prozentuale Anteile der verwendeten Baumaterialien der oberirdischen Hauswände

Baumaterial Kellerwände

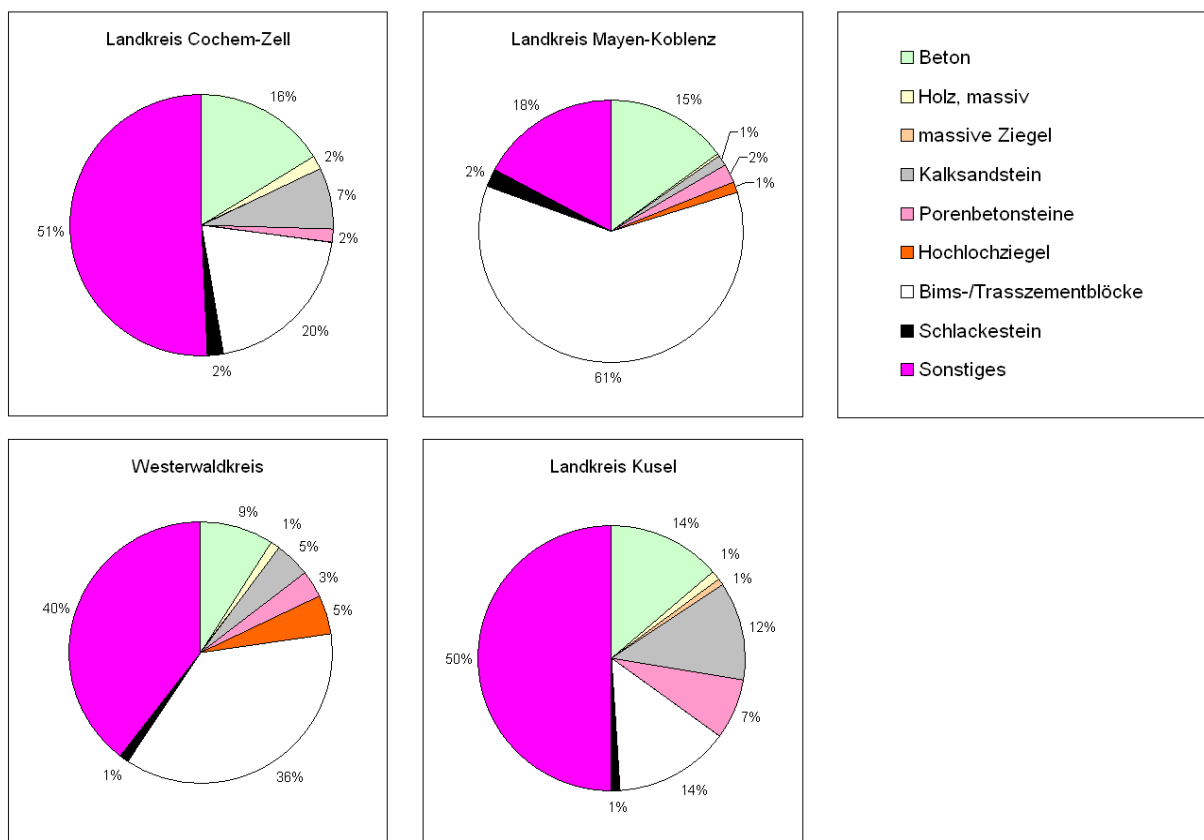


Abb. 7
 Prozentuale Anteile der verwendeten Baumaterialien der Kellerwände

Unter der Kategorie „Sonstiges“ verbergen sich häufig auch Natursteine (Abb. 8). In den Landkreisen Cochem-Zell und Kusel sind die Anteile an Natursteinen deutlich größer als in den beiden anderen Landkreisen.

Natursteine im Haus

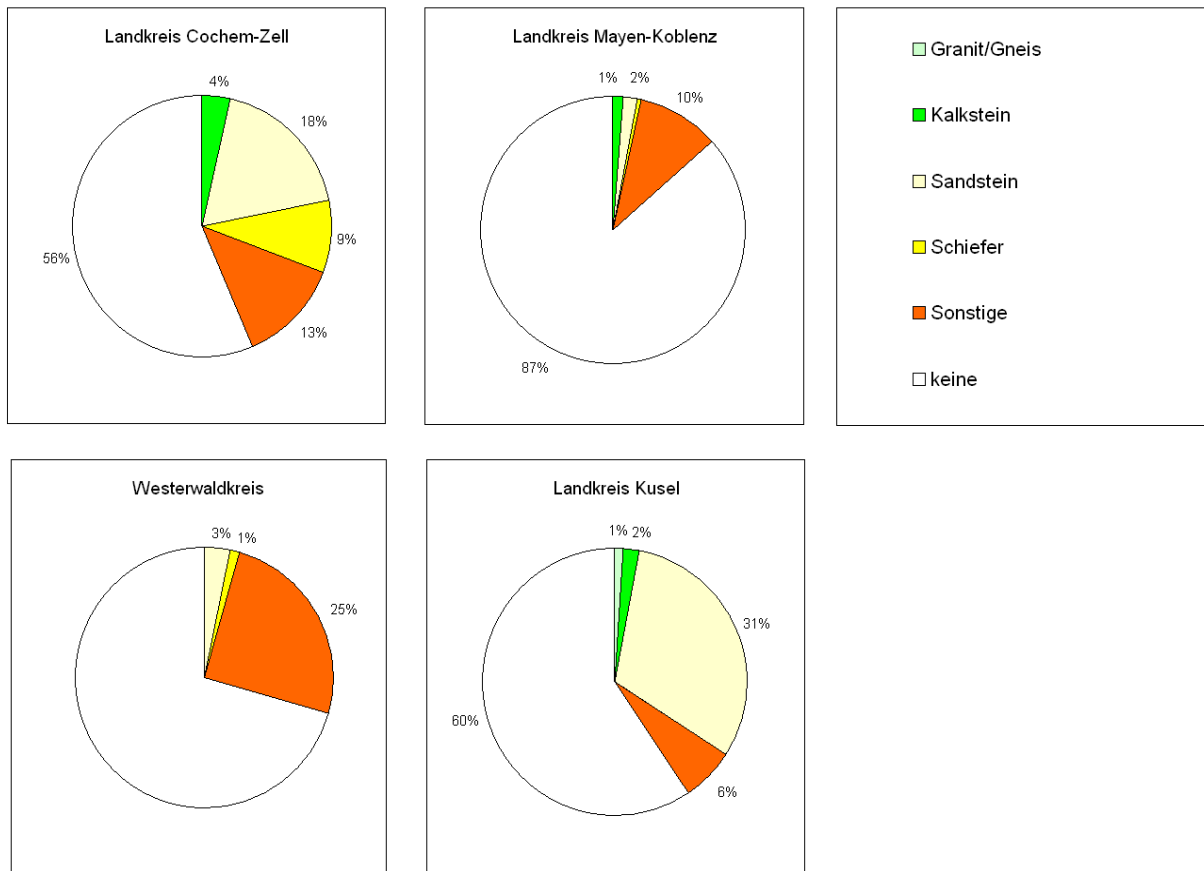


Abb. 8
 Prozentuale Anteile der verwendeten Natursteine

Neben der Gesamtbewertung wird exemplarisch die Bauausführung der Kellerböden betrachtet, weil dieser sowie den Abdichtungsmaßnahmen im erdberührten Bereich für die Radonmigration ins Gebäude eine besondere Bedeutung zukommt (Abb. 9). Beton ist das häufigste Baumaterial; der Anteil an Lehm/Naturböden fällt mit 20 % im Landkreis Cochem-Zell sehr hoch aus, ebenso wie der Anteil an Fels als Untergrund mit 7 %. Hierin spiegelt sich auch das hohe Baualter der Häuser in dieser Gegend wider.

Bauausführung Kellerboden

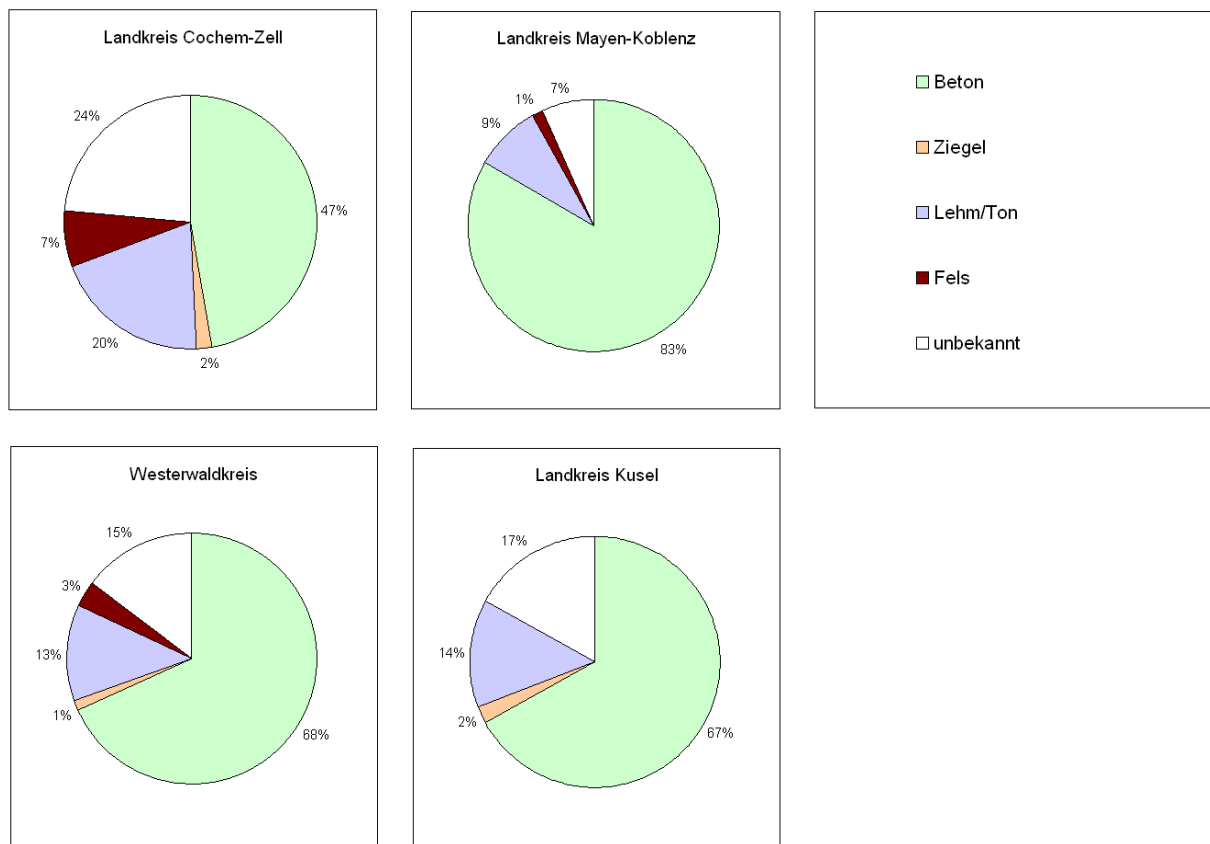


Abb. 9
 Prozentuale Anteile der Bauausführung des Kellerbodens

4.1.5 Bautenschutz

Die Durchlässigkeit bzw. Undurchlässigkeit der erdberührten Wände wird stark durch das Fehlen bzw. Vorhandensein von äußeren Abdichtungen beeinflusst. Aus diesem Grunde wird nachfolgend der Anteil an Feuchteschutz- (Abb. 10) bzw. Wärmedämmungsmaßnahmen (Abb. 11) angegeben. In beiden Fällen sind keine großen Unterschiede zwischen den Landkreisen Cochem-Zell, Westerwald und Kusel zu erkennen, lediglich im Landkreis Mayen-Koblenz sind deutlich mehr Häuser mit einem Feuchteschutz und einer Wärmedämmung versehen.

Feuchteschutz im Keller

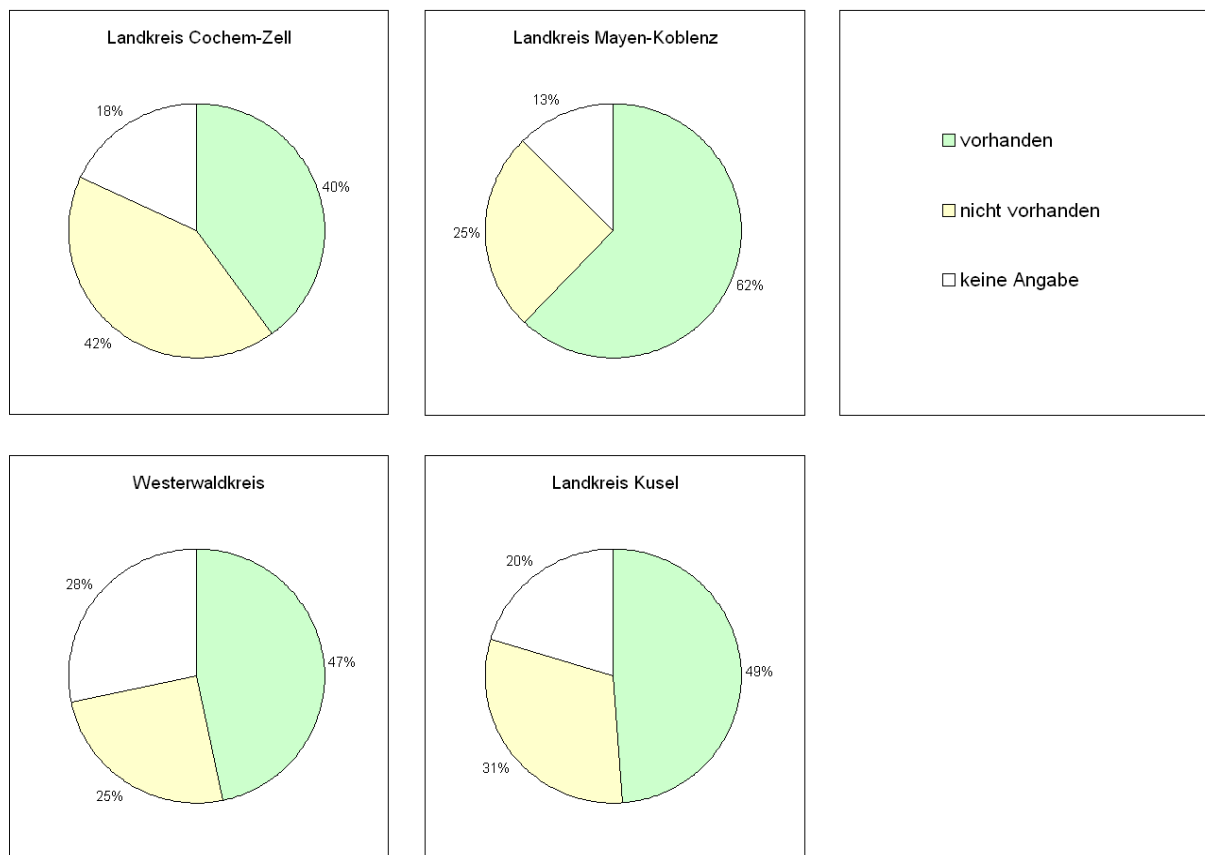


Abb. 10
 Prozentuale Anteile des Feuchteschutzes im Keller

Wärmedämmung im Keller

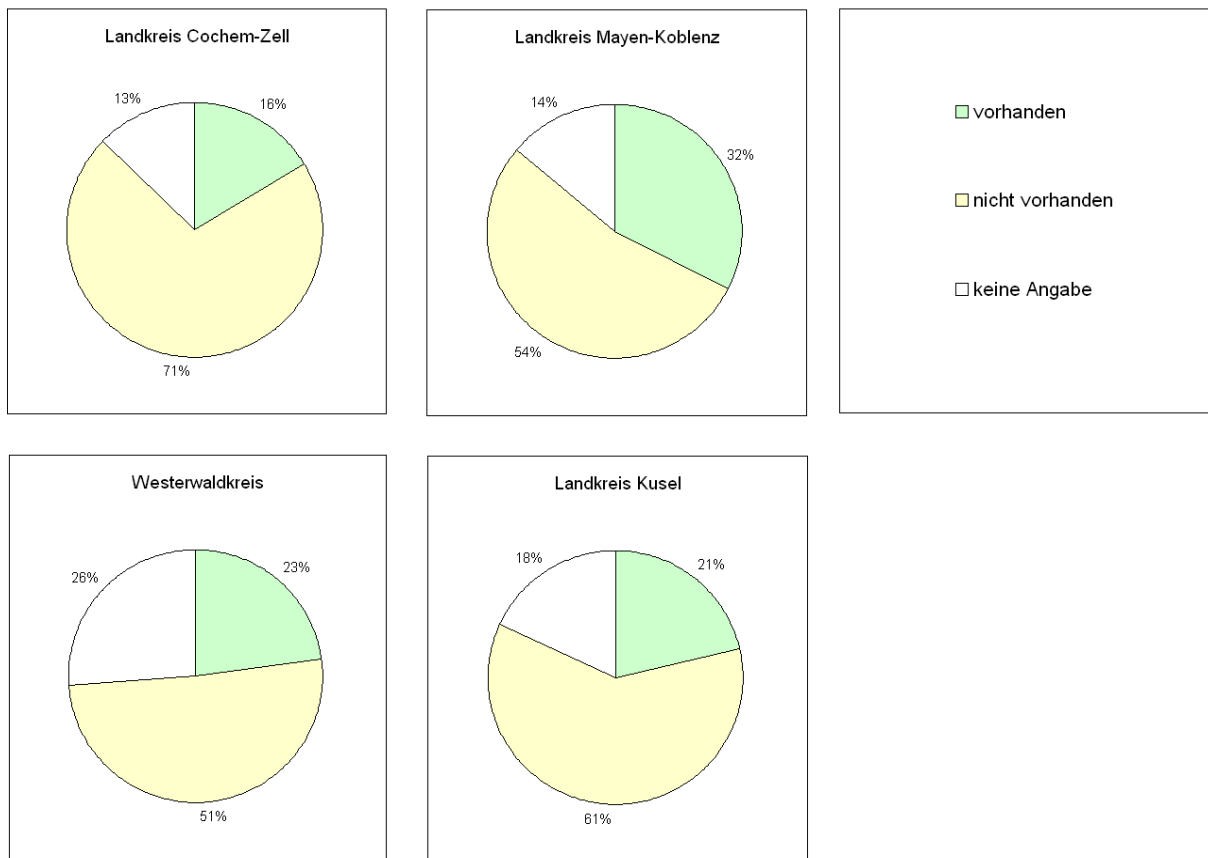


Abb. 11
 Prozentuale Anteile der Wärmedämmung im Keller

4.1.6 Raumnutzung

Die Raumnutzung der Messräume wurde getrennt für Keller- und Erdgeschossräume betrachtet (Abb. 12 und 13).

Die Raumnutzung kann als Indikator für die Aufenthaltsdauer in den jeweiligen Räumen angesehen werden. Es wurde eine Unterteilung in sieben Kategorien vorgenommen. Wohn-/Ess-, Schlaf-, Kinder- und Arbeitszimmer, Hobbyräume repräsentieren dabei Räume, bei denen von einer längeren Aufenthaltsdauer der Bewohner ausgegangen werden kann („Aufenthaltsräume“); Vorrats- und Abstellräume dagegen werden in der Regel nur kurzzeitig genutzt bzw. begangen („Nicht-Aufenthaltsräume“). Alle übrigen Raumnutzungen (z.B.: Flur, Bad, Waschküche, Heizungsraum)

wurden in der Kategorie „Sonstiges“ zusammengefasst; diese unterliegen ebenfalls nur einer kurzzeitigen Nutzung („Nicht-Aufenthaltsräume“).

Die Nutzung der Messräume ist in allen Landkreisen sehr ähnlich. Ein hoher Anteil der Kellerräume (ca. 30 %) wird als Aufenthaltsraum genutzt.

Raumnutzung Keller

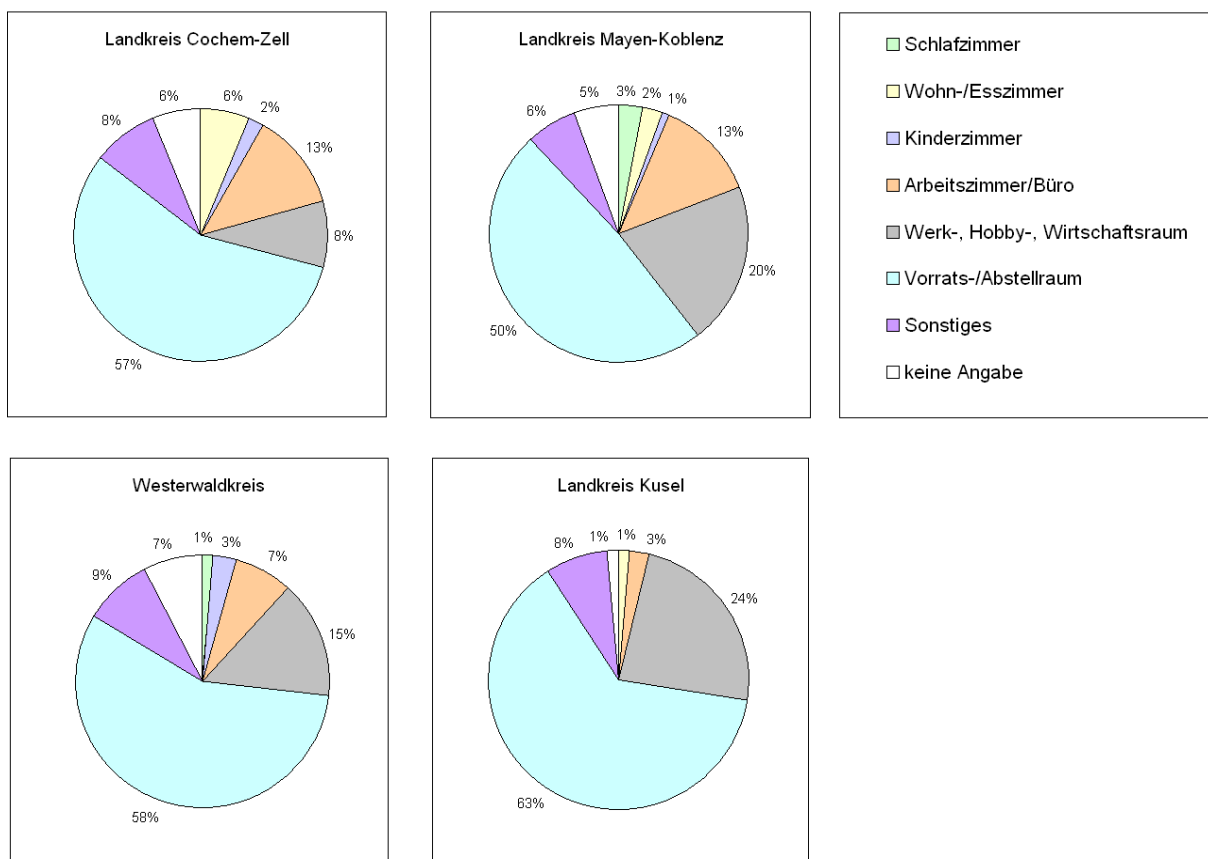


Abb. 12
 Prozentuale Anteile der Raumnutzung im Keller

Raumnutzung Erdgeschoss

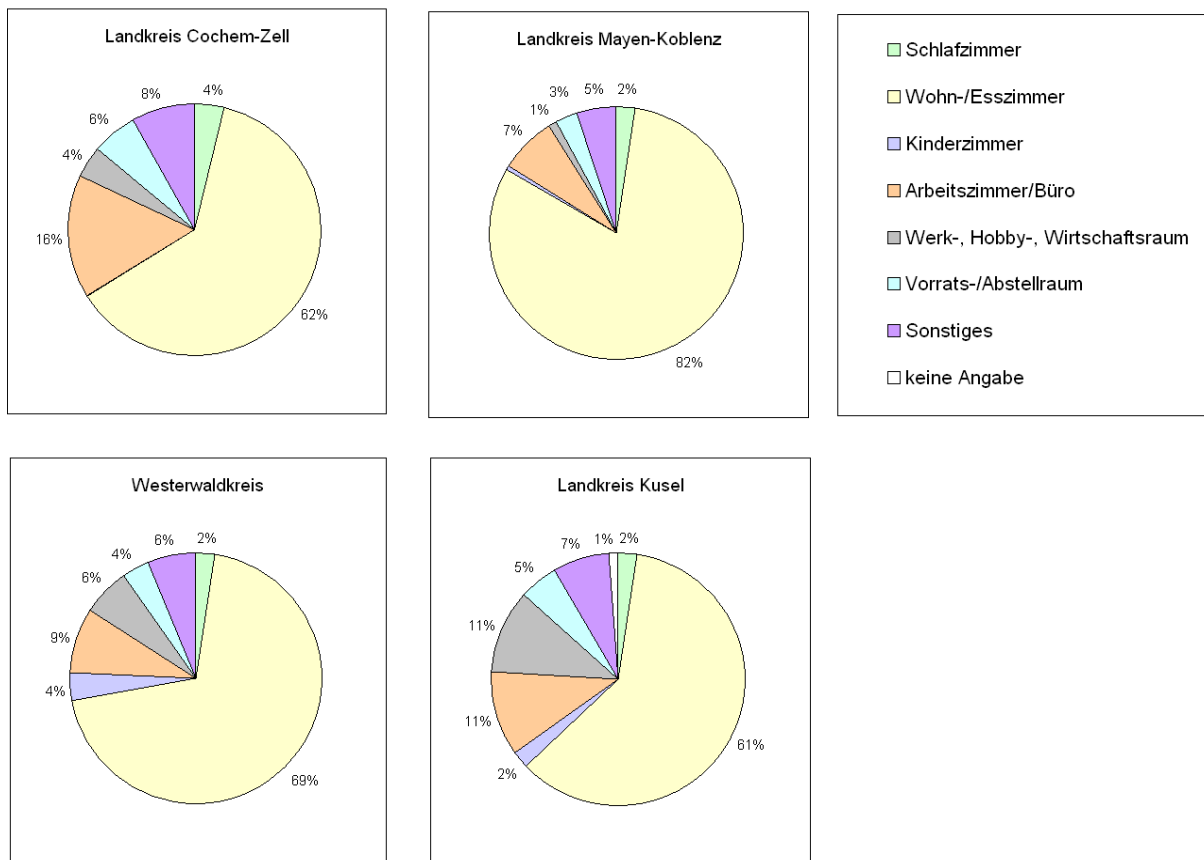


Abb. 13
 Prozentuale Anteile der Raumnutzung im Erdgeschoss

4.2 Messergebnisse

4.2.1 Etage

Aus dem vier Landkreisen liegen insgesamt 915 Radonmesswerte vor: 413 Ergebnisse aus Kellerräumen, 442 Ergebnisse aus Erdgeschossräumen sowie 60 Ergebnisse aus der 1. Etage und aus höheren Etagen. Die graphische Darstellung aller Messwerte im Wahrscheinlichkeitsnetz ist in Abbildung 14 dargestellt.

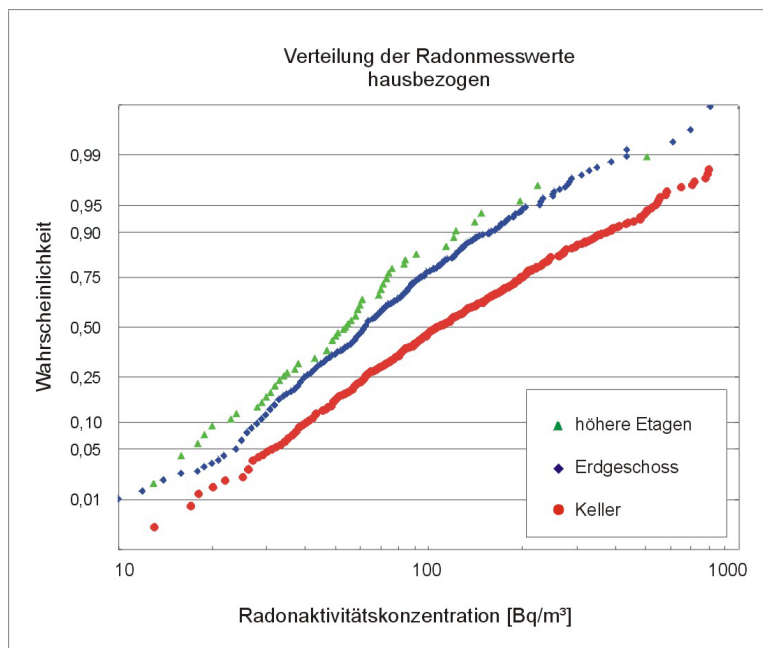


Abb. 14

Häufigkeitsverteilung aller Messwerte in den verschiedenen Etagen

Die Werte sind logarithmisch normalverteilt. Die geometrischen Mittelwerte nehmen von 111 Bq/m³ für die Kellerräume über 64 Bq/m³ für Erdgeschossräume auf 53 Bq/m³ für Räume in höheren Etagen ab und liegen damit deutlich höher als in den bisher in Rheinland-Pfalz durchgeführten Messkampagnen. Unterschiede zwischen den Landkreisen sind zu erkennen; hervorzuheben ist, dass im Landkreis Cochem-Zell und im Westerwaldkreis keine Erdgeschossräume mit einer Belastung von mehr als 400 Bq/m³ vorhanden sind. Im gesamten Datenkollektiv wiesen 124 Messräume eine Radonkonzentration über 200 Bq/m³, davon 40 Messräume eine Konzentration über 400 Bq/m³ und sechs Messräume - ausschließlich im Keller gelegen - eine Konzentration über 1.000 Bq/m³ auf.

Da einige Teilnehmer trotz klarer Aufstellungsanweisungen beide Exposimeter in der selben Etage aufgestellt hatten, wird für die folgenden Betrachtungen jeweils der höchste Messwert einer Etage eines einzelnen Hauses herangezogen. Dadurch verringert sich zwar die Anzahl der einbezogenen Messwerte (401 im Erdgeschoss, 418 im Keller bzw. 59 Messwerte in höheren Etagen), die Aussage insgesamt wird jedoch klarer. Die statistischen Kennzahlen der Verteilungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Messwerte, gesamt	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Höhere Etagen	59	70	70	54	2,0	54	122	196	502	15,3	3,4	1,7	---
Erdgeschoss	418	85	83	65	2,1	63	158	231	818	23,0	6,0	1,2	---
Keller	401	175	246	113	2,4	105	355	516	2972	52,6	24,2	8,5	1,5

Messwerte, Cochem-Zell	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Höhere Etagen	6	79	35	73	1,6	72	122	122	122	33,3	---	---	---
Erdgeschoss	50	80	57	67	1,8	63	133	188	331	24,0	4,0	---	---
Keller	48	152	133	109	2,3	109	371	425	573	52,1	25,0	6,2	---

Messwerte, Mayen-Koblenz	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Höhere Etagen	19	70	48	57	2,1	58	147	196	196	20,0	---	---	---
Erdgeschoss	203	79	84	61	2,0	61	135	206	818	19,7	5,2	1,4	---
Keller	207	163	211	108	2,4	100	344	484	2319	51,2	24,2	7,7	1,0

Messwerte, Westerwaldkreis	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Höhere Etagen	13	38	19	33	1,7	34	59	71	71	---	---	---	---
Erdgeschoss	82	81	66	63	2,1	55	164	206	352	20,9	6,6	---	---
Keller	70	219	402	124	2,5	106	365	692	2972	58,5	25,7	10,0	4,3

Messwerte, Kusel	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Höhere Etagen	21	86	104	63	2,0	56	114	224	502	14,3	9,5	4,7	---
Erdgeschoss	83	106	102	80	2,1	78	192	285	704	30,7	7,2	2,4	---
Keller	76	179	196	120	2,3	109	510	706	1050	53,9	22,4	10,5	1,3

Tab. 3

Statistische Kennwerte der Messwertverteilungen (AM = arithmetisches Mittel, SD = Standardabweichung, GM = geometrisches Mittel, GSD = geometrische Standardabweichung, p = Perzentil)

Auf Wunsch des Auftraggebers wurde eine separate Auswertung für Aufenthaltsräume sowie Nicht-Aufenthaltsräume ohne Berücksichtigung der Etage durchgeführt (Definition s. Kap. 4.1.6). Aus Gründen der besseren Interpretierbarkeit wurden dabei die jeweils höchsten Messwerte in der betreffenden Raumart eines Hauses berücksichtigt. Die Gesamtzahl der betrachteten Räume vermindert sich daher auf 720 und die statistischen Kennzahlen der jeweiligen Verteilungen sind deutlich zu höheren Werten hin verschoben (Tab. 4). Mit Anteilen von ca. 1,0 % der Aufenthaltsräume über 1.000 Bq/m³ weisen die Landkreise Mayen-Koblenz und Kusel die höchste Belastungen auf.

Messwerte, hausbezogen	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Aufenthaltsräume	438	117	164	81	2,2	76	224	312	2319	34,0	12,0	3,7	0,7
Andere Räume	282	165	234	108	2,4	101	355	473	2972	51,4	23,1	7,8	1,1

Messwerte, hausbezogen, Cochem-Zell	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Aufenthaltsräume	49	87	56	74	1,8	79	150	188	331	28,6	4,1	---	---
Andere Räume	38	168	145	116	2,5	120	397	569	573	55,3	31,6	7,9	---

Messwerte, hausbezogen, Mayen-Koblenz	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Aufenthaltsräume	213	127	200	81	2,3	76	239	432	2319	34,8	14,1	5,2	1,0
Andere Räume	128	137	123	98	2,3	92	336	403	639	47,7	21,1	5,5	---

Messwerte, hausbezogen, Westerwaldkreis	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Aufenthaltsräume	85	90	70	70	2,0	63	190	253	352	31,8	9,5	---	---
Andere Räume	57	240	442	128	2,6	108	473	1238	2972	56,2	28,1	12,3	5,3

Messwerte, hausbezogen, Kusel	Anzahl	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Maximum Bq/m ³	Anteil >100 Bq/m ³ %	Anteil >200 Bq/m ³ %	Anteil > 400 Bq/m ³ %	Anteil >1000 Bq/m ³ %
Aufenthaltsräume	91	137	167	94	2,2	86	240	510	1050	37,4	14,3	5,5	1,1
Andere Räume	59	152	150	110	2,2	103	332	530	766	52,5	17,0	8,5	---

Tab. 4

Statistische Kennwerte der Messwertverteilungen, jeweils Maximalwert in einem Haus, (AM = arithmetisches Mittel, SD = Standardabweichung, GM = geometrisches Mittel, GSD = geometrische Standardabweichung, p = Perzentil)

Betrachtet man dagegen die Verteilungen der Messwerte nach Etagen getrennt, so ergeben sich für die Kellerräume in allen Landkreisen nahezu identische Resultate (Abb. 15). Bei der Verteilung der Erdgeschosswerte sind die Werte des Landkreises Kusel leicht zu höheren Werten verschoben (Abb. 16).

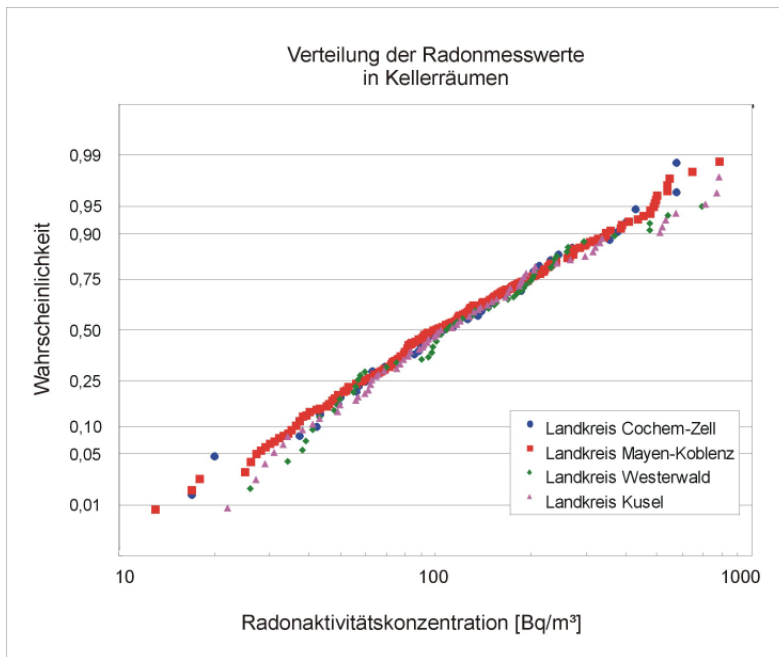


Abb. 15
Häufigkeitsverteilung der Kellermesswerte, landkreisbezogen

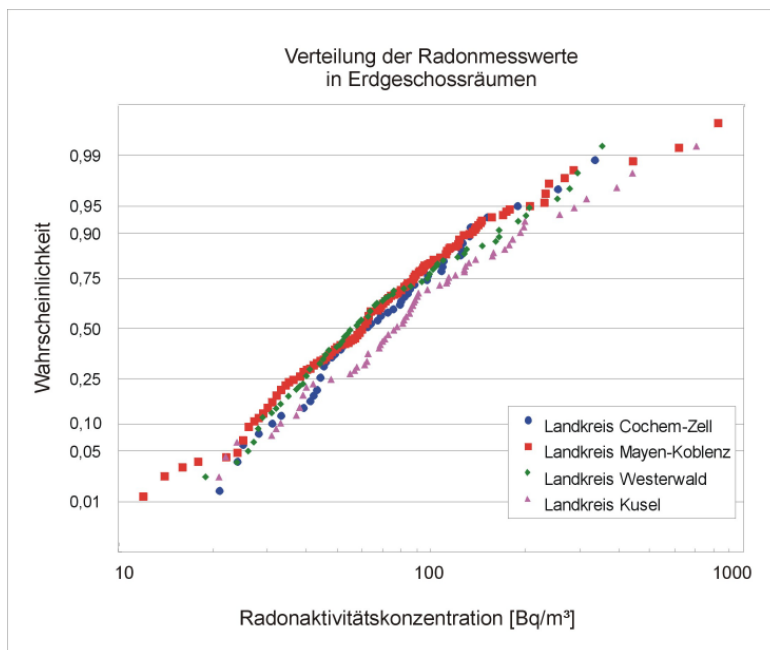


Abb. 16
Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte, landkreisbezogen

Die Ursache hierfür ist auch bei detaillierter Analyse der zur Verfügung stehenden Daten nicht ersichtlich. Bei allen Faktoren, welche die Radonmigration innerhalb eines Hauses beeinflussen, besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen den vier Landkreisen.

Die Unterschiede in Bauausführung und Bausubstanz bedingen erhebliche Variationen bei der Radonbelastung eines Hauses. Daher wurde im Rahmen der Auswertung von Radonraumlufmessungen bei Forschungsvorhaben des Bundes ein sogenannter „Referenzraum“ definiert. Über die Angleichung der wichtigsten Bauparameter wird eine identische Bewertungsgrundlage geschaffen und damit ein Vergleich von Radonkonzentrationen in Gebäuden in unterschiedlichen Regionen unabhängig von der Bausubstanz ermöglicht. Dieser Referenzraum liegt im Erdgeschoss eines vollunterkellerten Hauses, das als Baumaterial Beton aufweist und in dem keine Natursteine als Konstruktionsmaterial verbaut wurden.

Bei Betrachtung dieser Gebäude sind ebenfalls geringe Unterschiede in den Verteilungen festzustellen (Abb. 17). Diese landkreisbezogenen Betrachtungen sind allerdings in der Aussagefähigkeit beschränkt, da die Fallzahlen mit z.T. deutlich unter 100 Häusern für eine komplexe statistische Auswertung sehr niedrig sind.

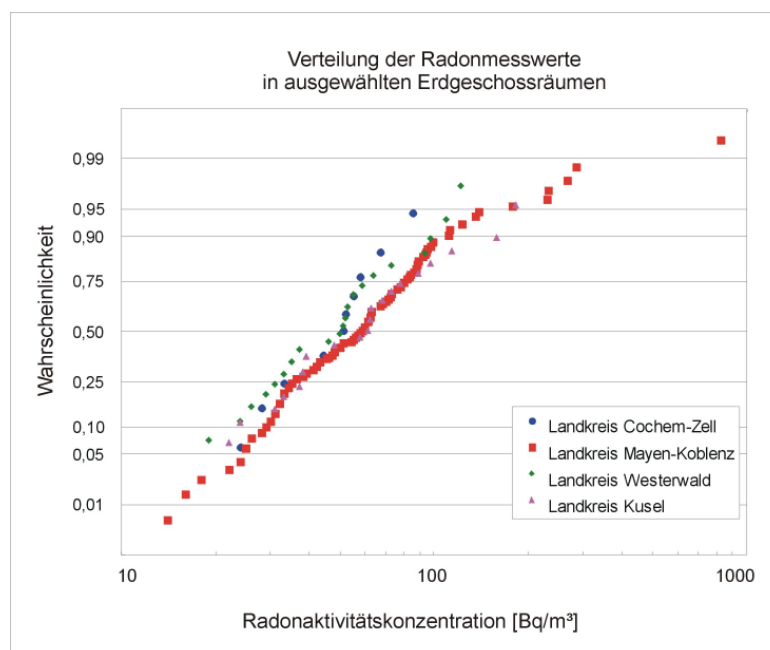


Abb. 17

Häufigkeitsverteilung ausgesuchter Erdgeschossmesswerte (voll unterkellert, keine Natursteinverbauung), landkreisbezogen

4.2.2 Baumerkmale

Zur besseren Interpretation der Daten erfolgt eine getrennte Betrachtung der Verteilungen nach Baumerkmale. Dabei wird auf die Ergebnisse der Forschungsvorhaben St. Sch. 4187 und St. Sch. 4251 des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) sowie die Messungen in Rheinland-Pfalz aus den Jahren 2001/2002 zurückgegriffen, in denen die wesentlichen, die Radonmigration ins Gebäude bestimmenden Parameter identifiziert wurden. Hierzu zählen Vorhandensein bzw. Fehlen einer Unterkellerung, Verbauung von Natursteinen als Konstruktionsmaterial, die Bauausführung des Kellers, das Vorhandensein bzw. Fehlen eines Feuchteschutzes im erdberührten Bereich und das Baualter. Dies wurde durch die Resultate dieser Messkampagne bestätigt.

Abbildung 18 zeigt den Einfluss des Haustyps auf die Innenraumkonzentrationen, wobei die Art der Unterkellerung der wesentliche Einflussfaktor ist. Die Verteilungen der vollunterkellerten Gebäude sind gegenüber den teilunterkellerten Häusern deutlich zu niedrigeren Radonwerten verschoben. Nicht unterkellerte Häuser wurden in nur sehr geringer Anzahl untersucht und sind aus diesem Grund nicht dargestellt.

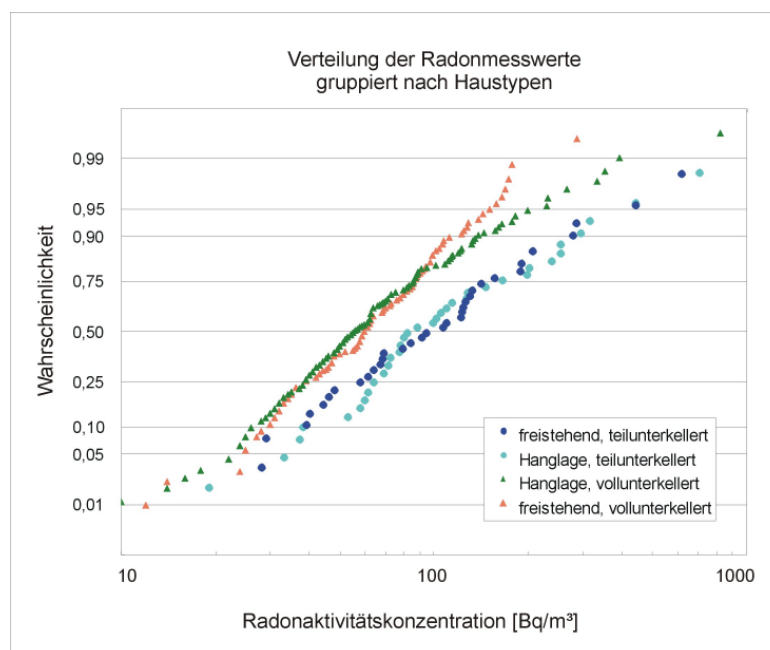


Abb. 18
Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte,
gruppiert nach Haustypen

Die Art des Baumaterials ist ebenfalls von sehr großer Bedeutung (Abb. 19). Gebäude, in denen Natursteine als Konstruktionsmaterial verwendet wurden, sind höher radonbelastet als die Gebäude ohne Natursteinverbauung.

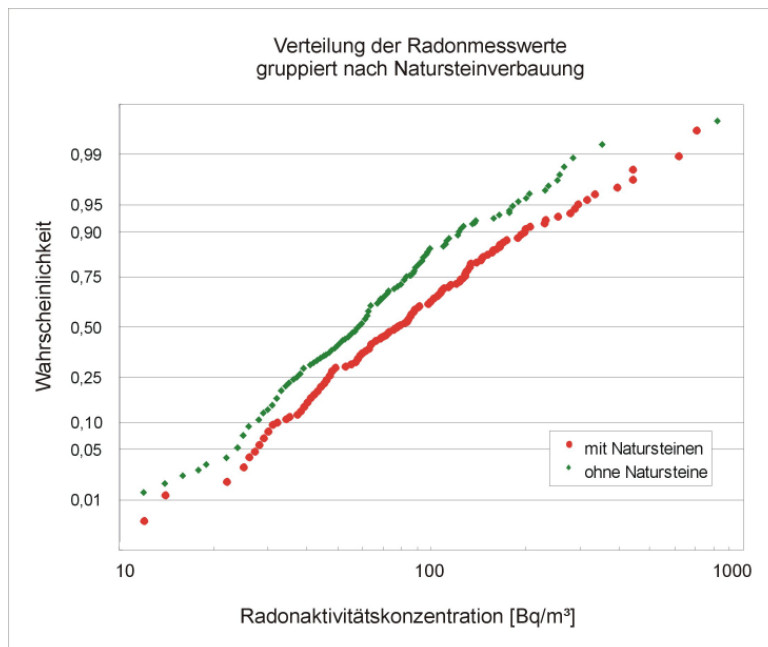


Abb. 19
Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte,
gruppiert nach Natursteinverbauung

Der Einfluss des Baumaterials Beton kommt noch deutlicher zum Ausdruck, wenn man die entscheidende Schnittstelle zwischen Haus und Baugrund bzw. die Migrationswege vom Keller ins Erdgeschoss betrachtet. In Abbildung 20 ist die Verteilung jeweils unter Berücksichtigung der Bauausführung des Kellerbodens dargestellt. Der erhebliche migrationshemmende Effekt von Beton gegenüber einem naturbelassenen Boden aus Lehm wird klar ersichtlich: Die resultierenden Radonaktivitätskonzentrationen im Erdgeschoss sind sehr viel niedriger.

Auch die Ausführung der Kellerdecke wirkt sich in der gleichen Art und Weise aus (Abb. 21). Fertigteillemente oder Beton hemmen den Übertritt von Radon aus dem Keller in das Erdgeschoss.

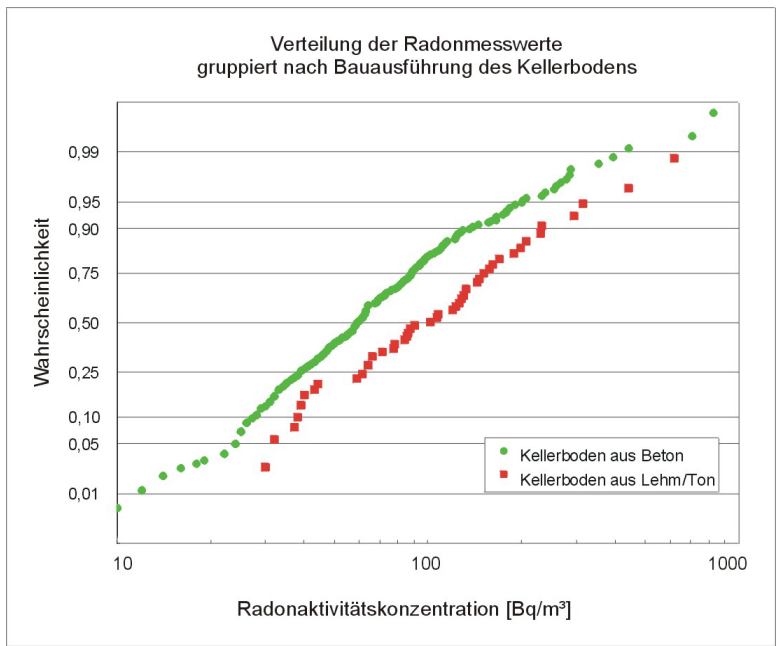


Abb. 20
Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte,
gruppiert nach der Bauausführung des Kellerbodens

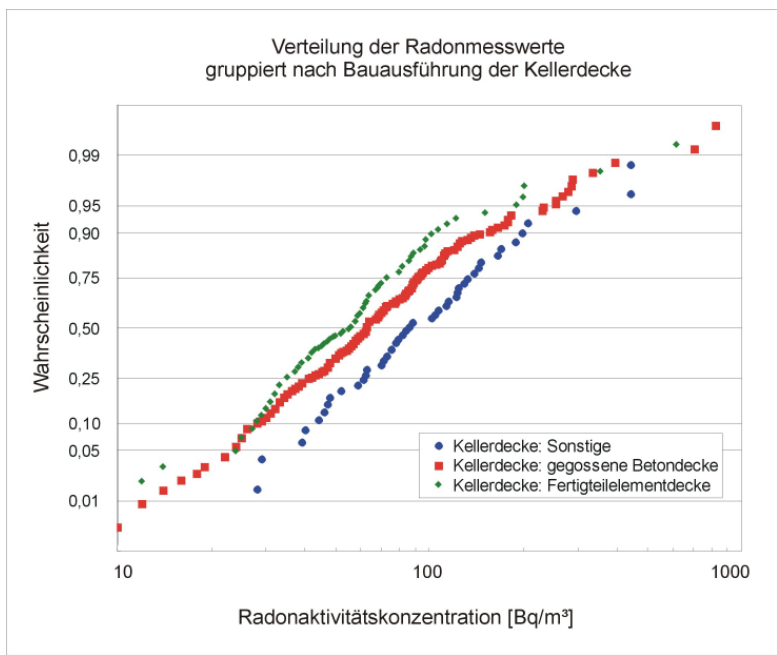


Abb. 21
Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte,
gruppiert nach der Bauausführung der Kellerdecke

Der Effekt eines Feuchteschutzes im erdberührten Bereich ist nicht auf das Erdgeschoss beschränkt, sondern wirkt sich auch im Kellerbereich aus. Abbildung 22 zeigt die klare Schutzwirkung einer solcher Maßnahme gegenüber dem Radoneintritt ins Gebäude allerdings exemplarisch für Erdgeschossräume, da hier überwiegend die Aufenthaltsräume liegen.

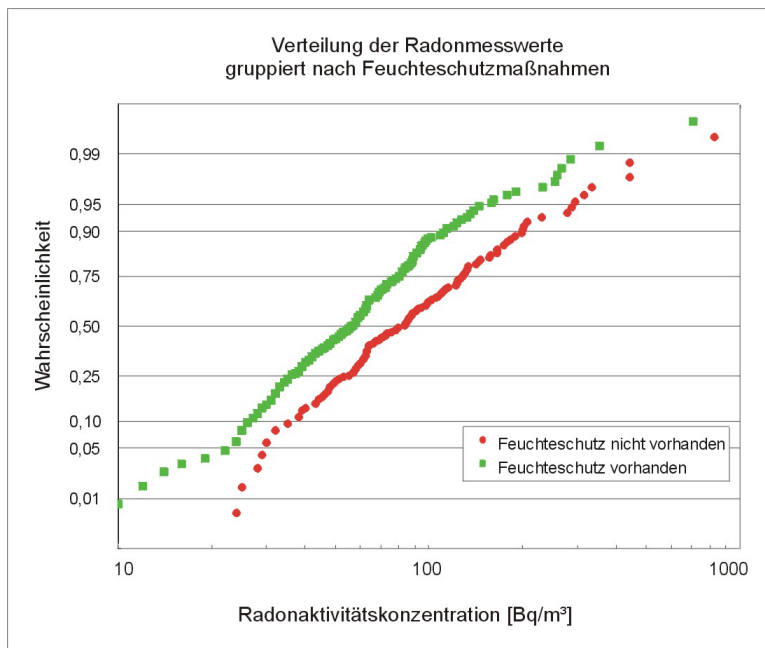


Abb. 22

Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte,
gruppiert nach Feuchteschutzmaßnahmen

In Abbildung 23 sind die Verteilungen der Radonmesswerte in den Referenzräumen und derjenigen in den „Nicht-Referenzräumen“ gegenübergestellt.

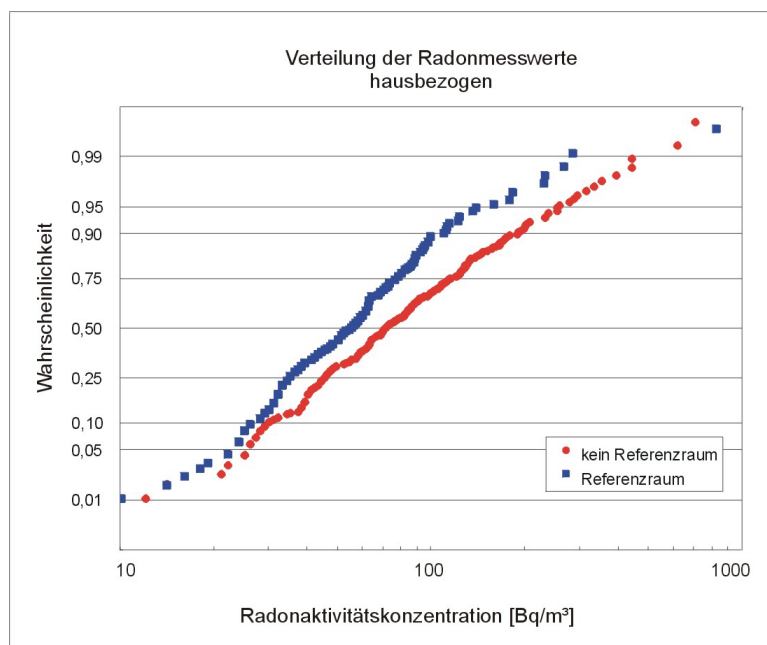


Abb. 23

Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte, gruppiert nach der Art des Raumes

Das Baualter steht in vielen Fällen als Synonym für die Art der Bauausführung. So sind ältere Häuser häufig nicht unterkellert oder weisen einen hohen Anteil an Natursteinverbauung auf. Dies kommt klar zum Ausdruck, wenn man die verschiedenen baualterabhängigen Verteilungen betrachtet (Abb. 24). Die ältesten Häuser - erbaut vor 1900 - zeigen die höchsten Radonwerte.

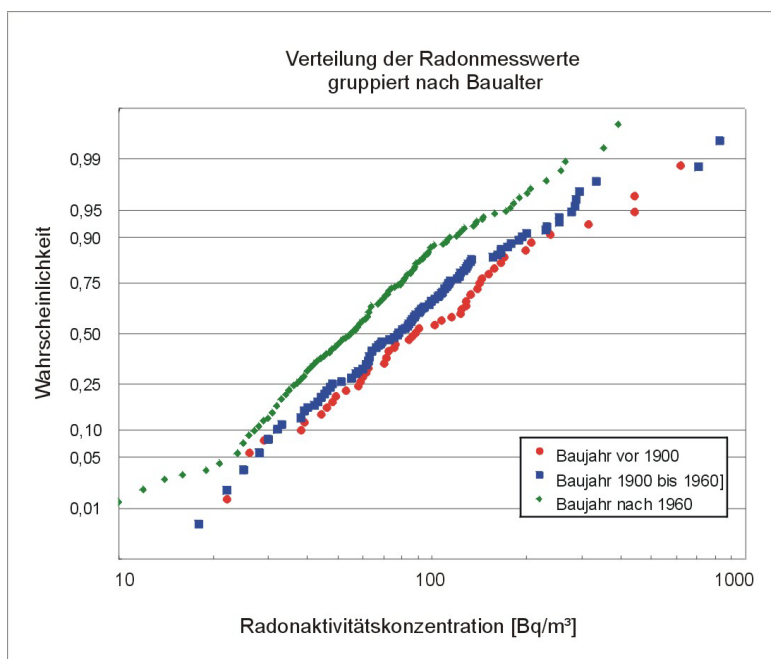


Abb. 24
Häufigkeitsverteilung der Erdgeschossmesswerte,
gruppiert nach dem Baualter

Betrachtet man ausschließlich Referenzräume, spielen vor allem Alterungsprozesse der Bausubstanz eine Rolle. Rissbildung im Beton, Zersetzung von Folien und Erweiterung von Fugen verbessern die Migrationsbedingungen für Radon aus dem Boden ins Haus (Abb. 25).

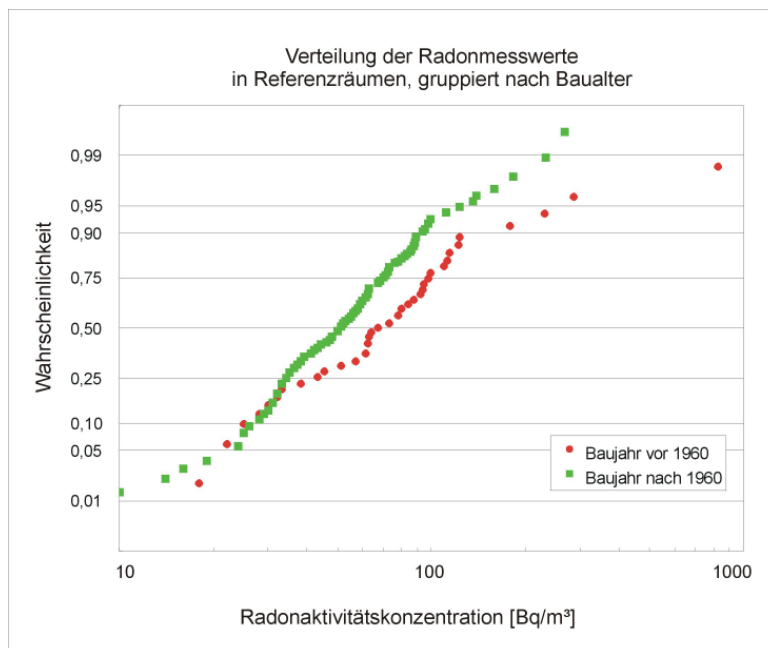


Abb. 25

Häufigkeitsverteilung der Messwerte in Referenzräumen, gruppiert nach dem Baualter

4.2.3 Geologie und Radonkonzentration in der Bodenluft

Die Auswahl der untersuchten Gemeinden erfolgte - wie bereits dargestellt - unter geologischen Gesichtspunkten. Die Tatsache, dass geologische Einheiten ein unterschiedliches geogenes Radonpotenzial besitzen, ist mittlerweile unbestritten und führt in verschiedenen europäischen Ländern zur Weiterentwicklung der Radonprognose. In Gebäuden über geologischen Einheiten mit hohen Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft treten gehäuft hohe Radonbelastungen in der Raumluft auf. Dies wurde in Forschungsvorhaben in den letzten Jahren eindeutig nachgewiesen. Dabei ist die Prognose für ein einzelnes Haus nicht möglich, bei Betrachtung einer Anzahl von Gebäudemesswerten über einer geologischen Einheit ist der Zusammenhang zwischen den Verteilungskenngrößen aber deutlich erkennbar. Um für den vorliegenden Datenbestand eine solche Auswertung durchführen zu können, wurde zunächst jedem Haus die Geologie des Hausstandortes zugewiesen (s. Kap. 2.2.4).

Die Untersuchungsgebiete liegen zwar alle im Bereich des Rheinischen Schiefergebirge, variieren aber im geologischen Detailaufbau erheblich. In allen Gebieten

treten geologische Schichtglieder auf, die hohe Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft aufweisen ($> 80 \text{ kBq/m}^3$).

Im Landkreis Cochem-Zell stehen vor allem die devonischen Schiefer und Sandsteine an, die lokal durch quartäre Verwitterungsbildungen überlagert werden (Abb. 26). Im Landkreis Mayen-Koblenz sind die quartären Eruptiva des Laacher-See-Ereignisses dominierend, untergeordnet treten devonische Gesteine mit tertiären Verwitterungsbildungen oder jungen nacheiszeitlichen Umlagerungsmassen auf (Abb. 27). Im Westerwaldkreis beherrschen die Erscheinungsformen des tertiären Vulkanismus sowie der tertiären und quartären Verwitterungsbildungen das geologische Geschehen (Abb. 28). Der Landkreis Kusel unterscheidet sich deutlich von den drei übrigen Landkreisen, da hier die Umlagerungsbildungen des Permokarbon vorherrschen, die lokal durch quartäre Decksedimente überlagert werden (Abb. 29).

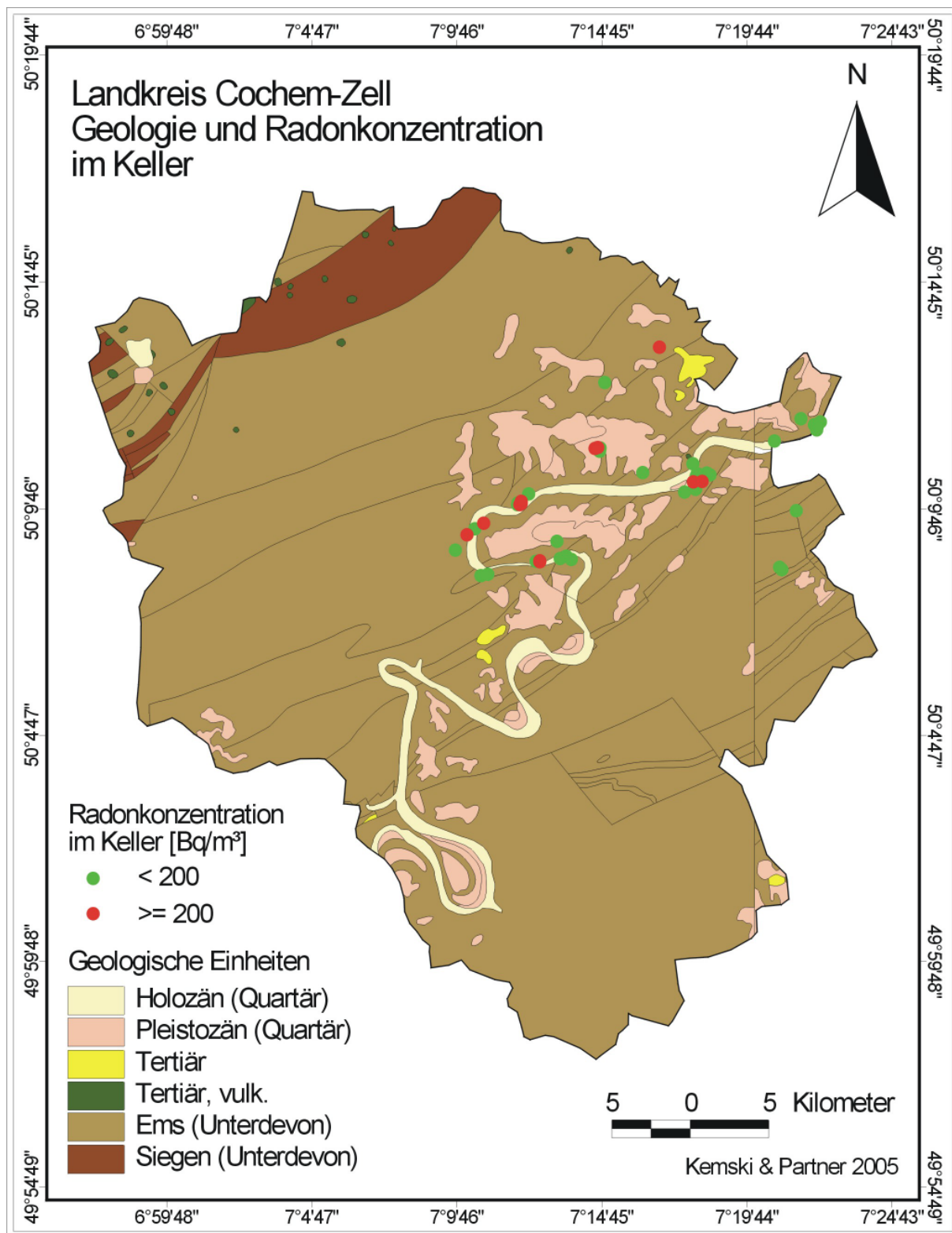


Abb. 26
Geologie im Landkreis Cochem-Zell (vereinfacht nach GK 200 der BGR)
mit Radonkonzentrationen im Keller

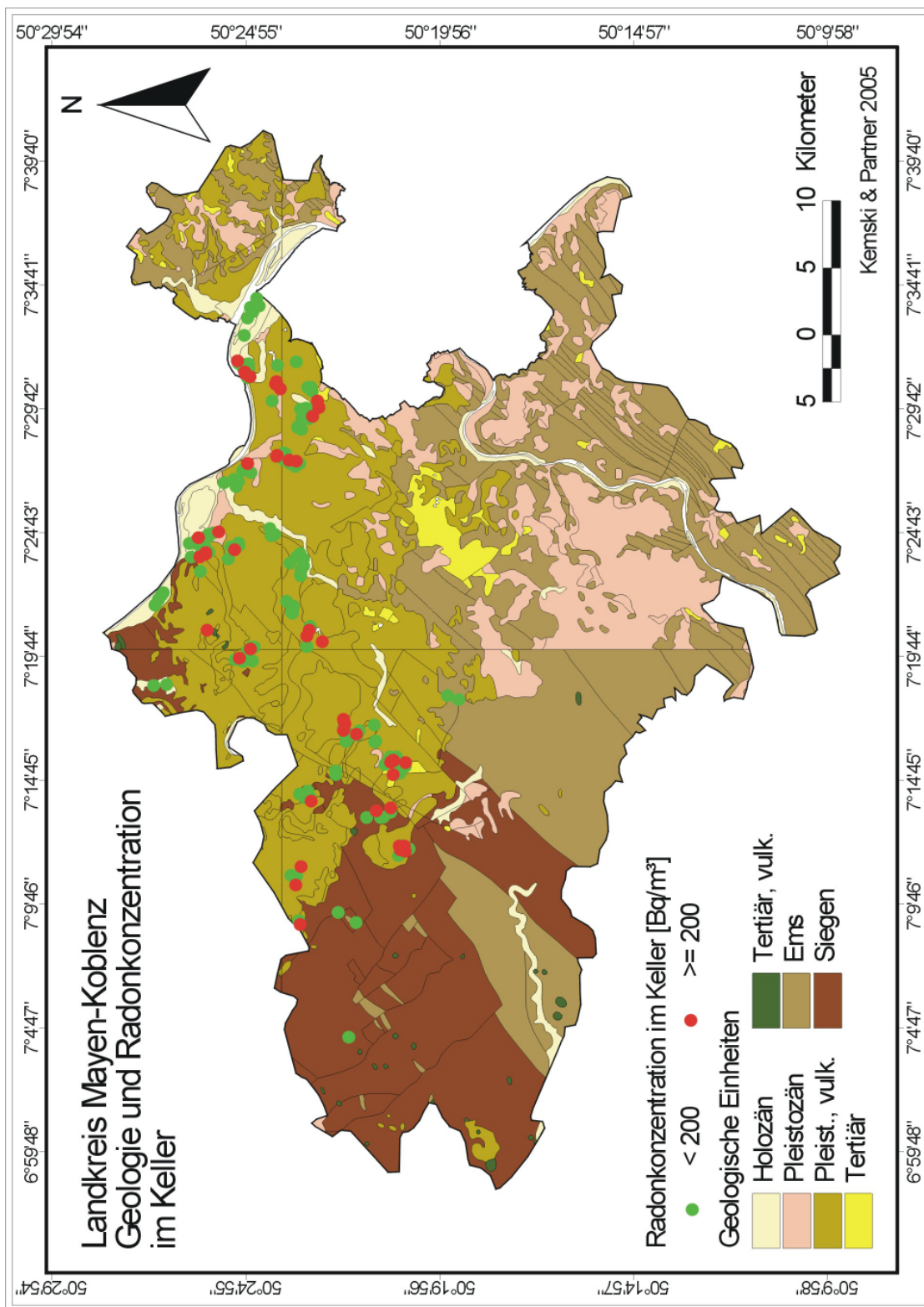


Abb. 27

Geologie im Landkreis Mayen-Koblenz (vereinfacht nach GK 200 der BGR) mit Radonkonzentrationen im Keller

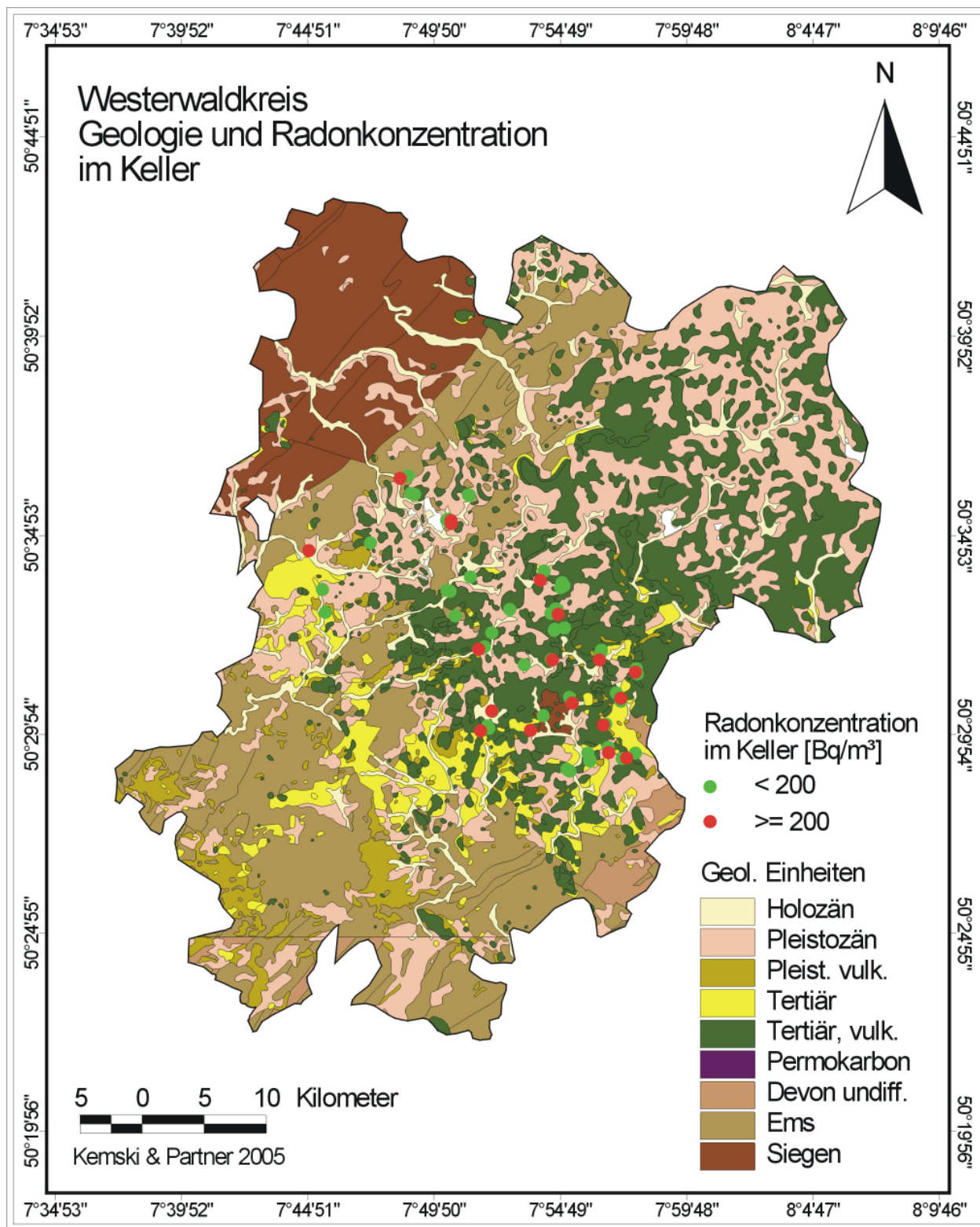


Abb. 28
Geologie im Westerwaldkreis (vereinfacht nach GK 200 der BGR) mit Radonkonzentrationen im Keller

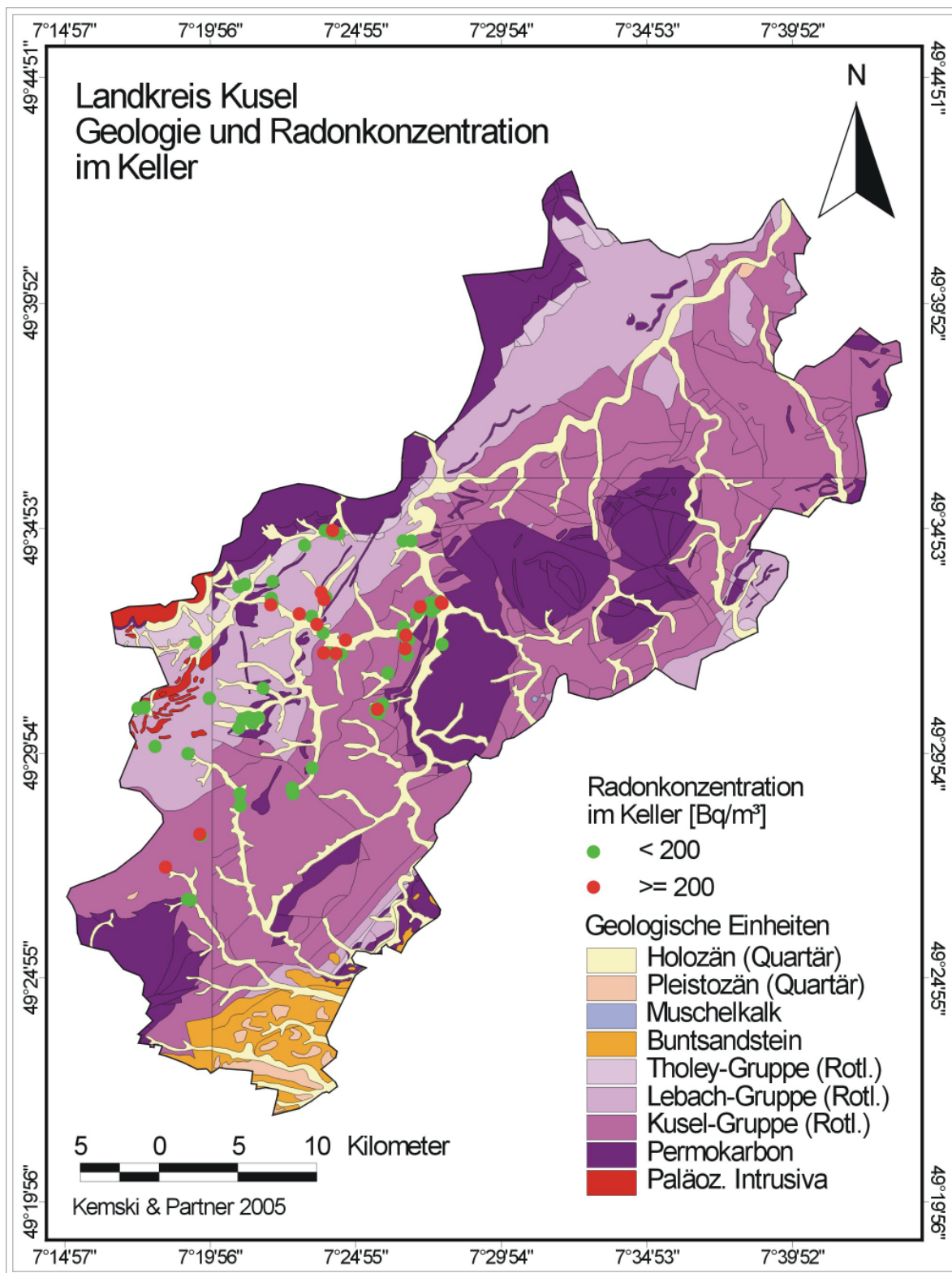


Abb. 29

Geologie im Landkreis Kusel (vereinfacht nach GK 200 der BGR) mit Radonkonzentrationen im Keller

Die Verteilung der Messorte auf die verschiedenen geologischen Einheiten ist in Abbildung 30 dargestellt.

Standortbezogene Geologie (GK 200)

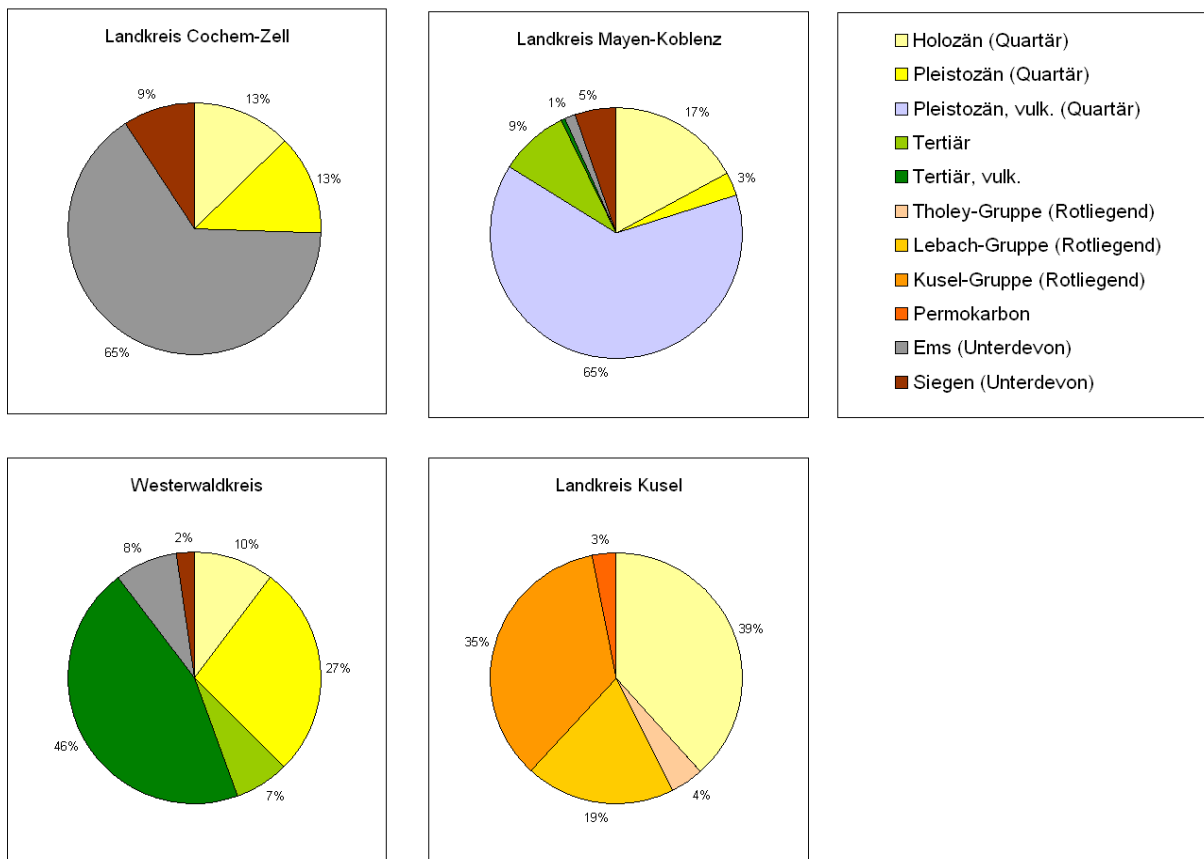


Abb. 30

Prozentuale Anteile der geologischen Einheiten (Basis: BGR, GK 200)

Ein Vergleich der geometrischen Mittelwerte der Radonkonzentration in der Bodenluft und im Keller über verschiedenen geologischen Schichtgliedern zeigt ein einheitliches Verhältnis beider Kenngrößen in allen betrachteten geologischen Einheiten (Abb. 31). Der durchschnittliche Transfer (Quotient von Raumlufkonzentration in Bq/m³ und Bodenluftkonzentration in kBq/m³) aus der Bodenluft ins Gebäude liegt für die Kellerräume bei ca. 1,2 ‰.

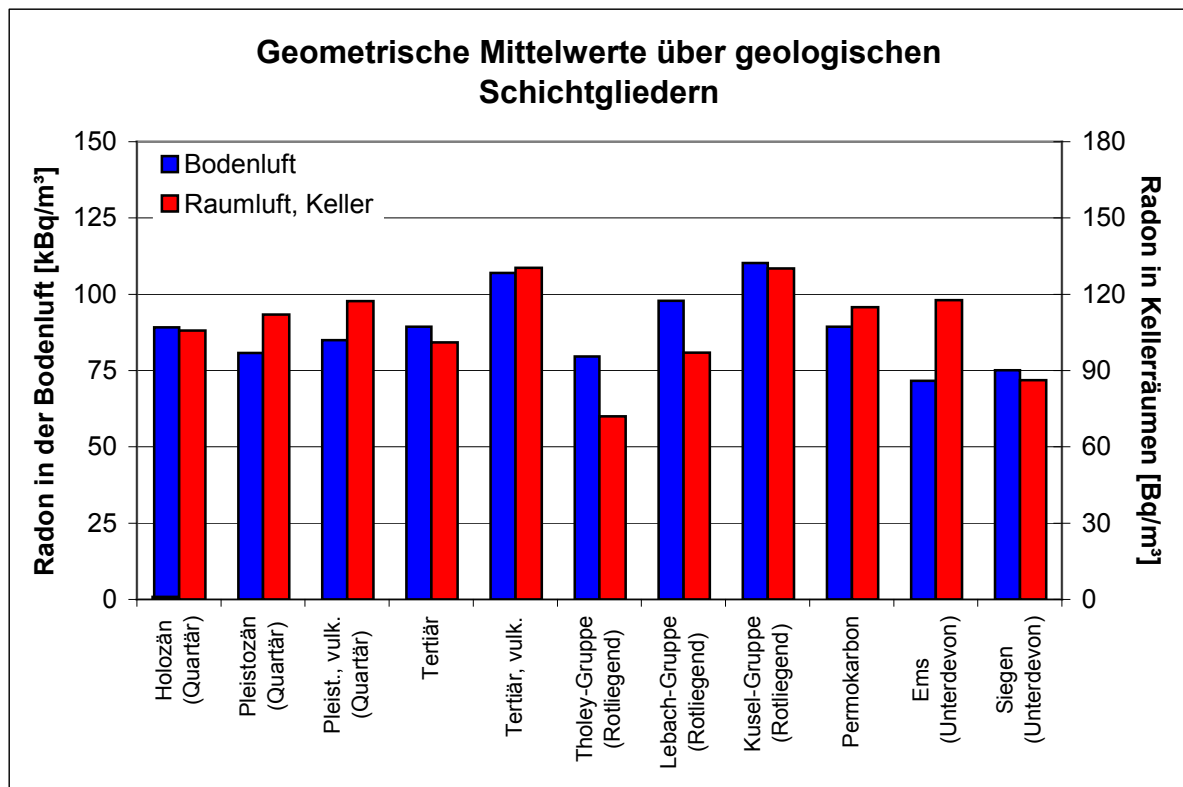


Abb. 31

Geometrische Mittelwerte in der Bodenluft und im Keller über verschiedenen geologischen Einheiten

Dies hebt sich zunächst einmal deutlich vom durchschnittlichen Transfer der Messkampagne 2001/2002 von 2 ‰ ab. Der Unterschied ist jedoch erklärbar und liegt in den Berechnungsgrundlagen der Bodenluftdaten.

Bei BfS-Forschungsprojekten und der MUF-Messkampagne 2001/2002 wurden für derartige Betrachtungen Bodenluftdaten im „feineren“ 1 x 1 km-Raster verwendet, für die aktuellen Untersuchungen dagegen Daten der Deutschlandkarte im „gröberen“ 3 x 3 km-Raster (s. Kap. 2.2.4). Legt man für alle bisherigen Messungen in Rheinland-Pfalz Daten im 3 x 3 km-Raster zu Grunde, so ergibt sich wieder ein einheitliches Bild mit einem deutlichen Trend (Abb. 32). Die durchschnittliche Transferrate für alle Gebiete beträgt hierbei 1,3 ‰.

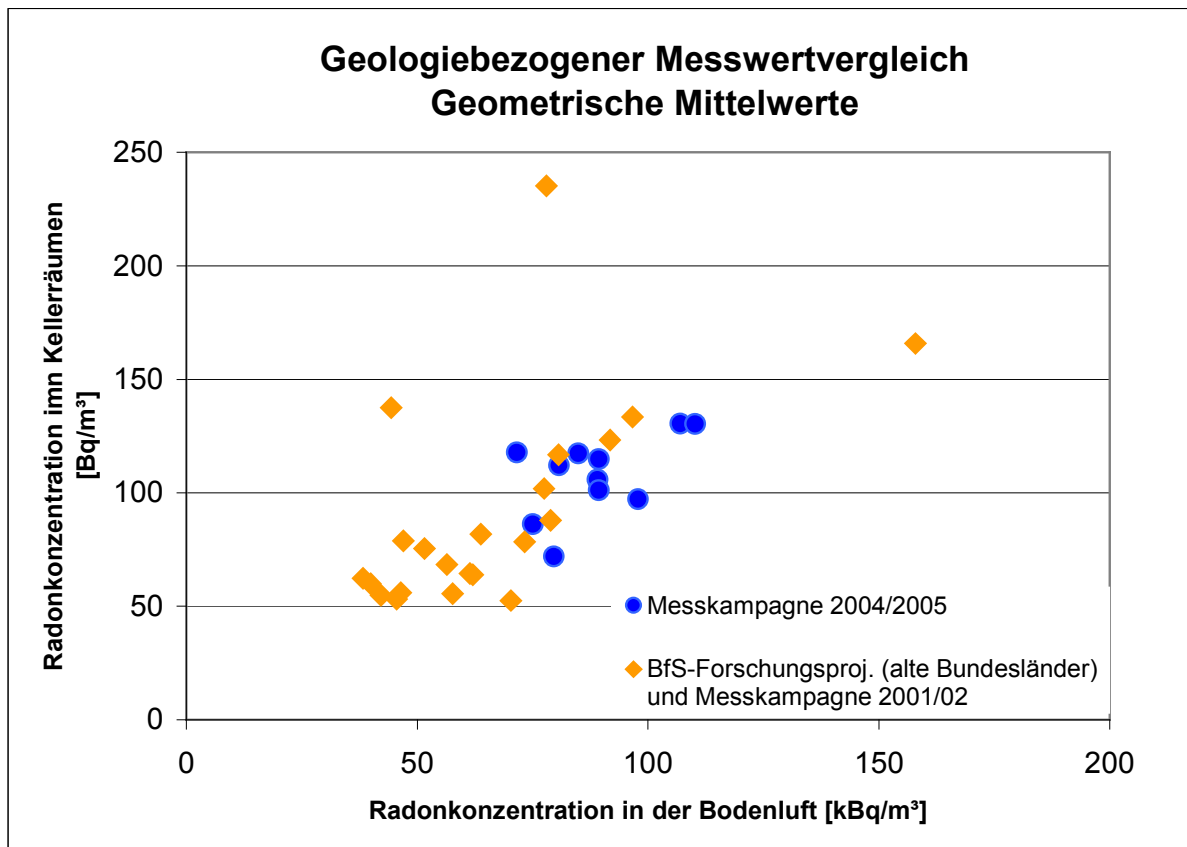


Abb. 32

Streudiagramm Bodenluft – Kellerräume in Abhängigkeit von der Geologie, jeder Punkt repräsentiert eine geologische Einheit

Die Untersuchungsgebiete der aktuellen Messkampagne wurden aufgrund erhöhter Radonkonzentrationen in der Bodenluft ausgesucht; Grundlage war die Deutschlandkarte der Bodenluftkonzentrationen. Diese gezielte Auswahl spiegelt sich deutlich bei der flächenhaften Verteilung der einzelnen Bodenluftklassen wider (Abb. 33). Die Spannweite der Bodenluftkonzentrationen reicht von ca. 90 % der Klasse 81 bis 100 kBq/m³ im Landkreis Mayen-Koblenz bis hin zu über 50 % der Klasse über 150 kBq/m³ im Landkreis Kusel. Bodenluftwerte unter 20 kBq/m³ kommen gar nicht vor. Aus diesem Grund finden sich in Abbildung 32 die aktuell betrachteten geologischen Schichtglieder auch bei höheren mittleren Bodenluftkonzentrationen wieder.

Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft, interpolierte Werte am Haus

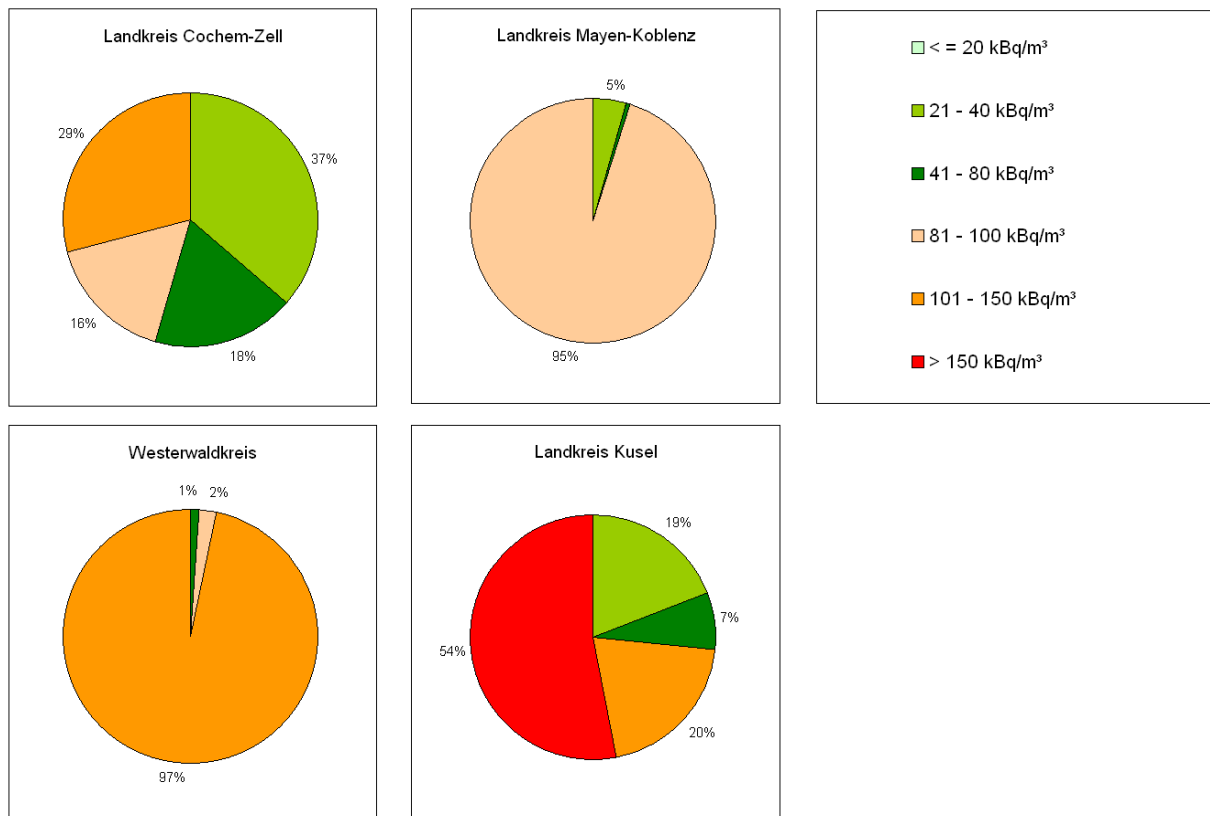


Abb. 33
 Prozentuale Verteilung der Bodenluftwerte

Abschließend sind die Messergebnisse in den verschiedenen Landkreisen noch einmal kartographisch dargestellt (Landkreis Cochem-Zell: Abb. 34; Landkreis Mayen-Koblenz: Abb. 35; Westerwaldkreis: Abb. 36; Landkreis Kusel: Abb. 37). Für jeden Landkreis existieren Darstellungen der Messergebnisse im Keller (a) und Erdgeschoss (b) sowie in Aufenthaltsräumen (c) und Nicht-Aufenthaltsräumen (d). Die Klasseneinteilung der Raumlufkonzentrationen orientiert sich an den bereits erwähnten Grenzen: < 100 Bq/m³ (= geplanter Zielwert der Bundesregierung), 200 Bq/m³ (= EU-Planungswert für Neubauten), 400 Bq/m³ (= EU-Referenzwert für bestehende Gebäude) und 1.000 Bq/m³ (= geplanter Grenzwert der Baurichtlinie).

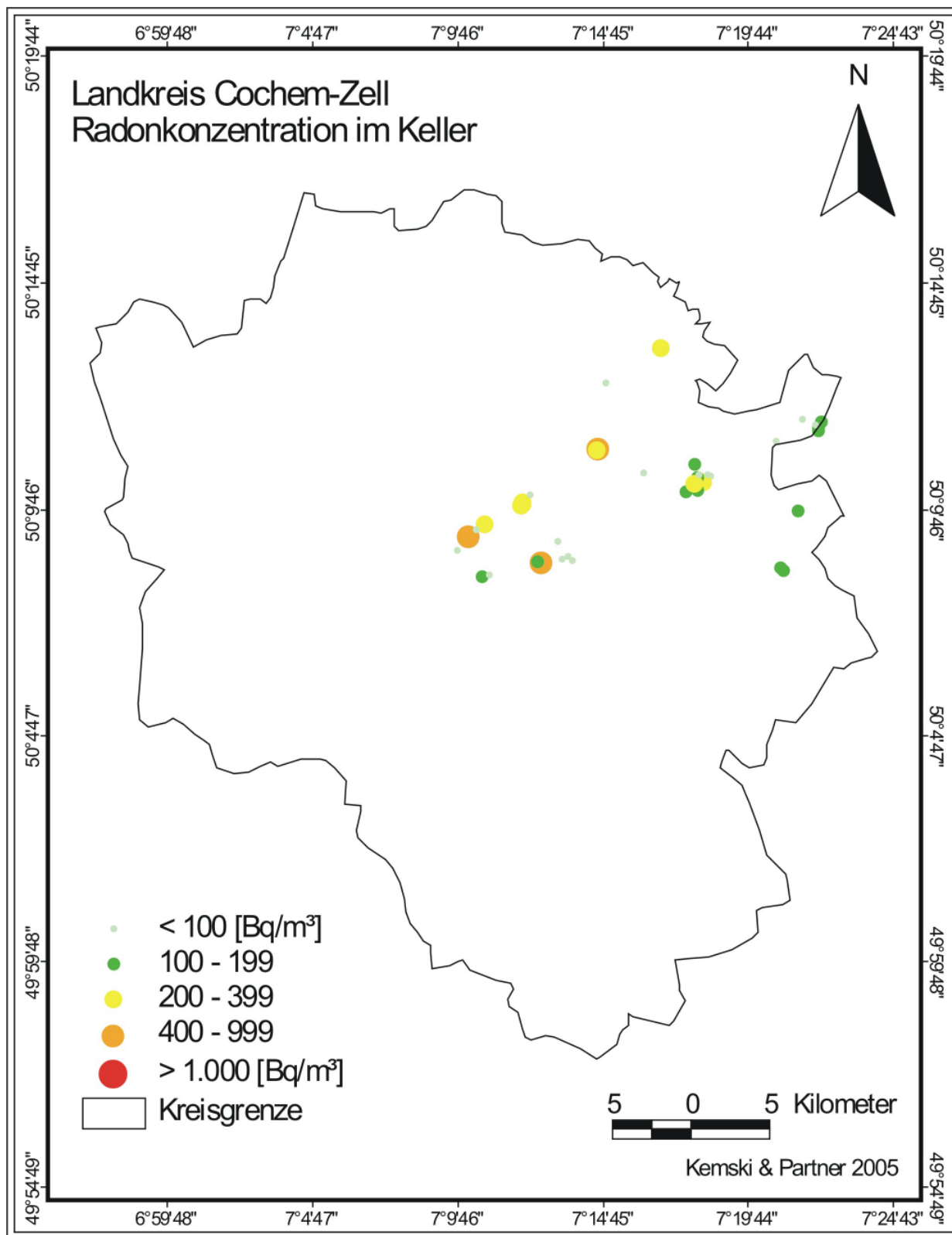


Abb. 34 a
Messwerte im Landkreis Cochem-Zell: Keller

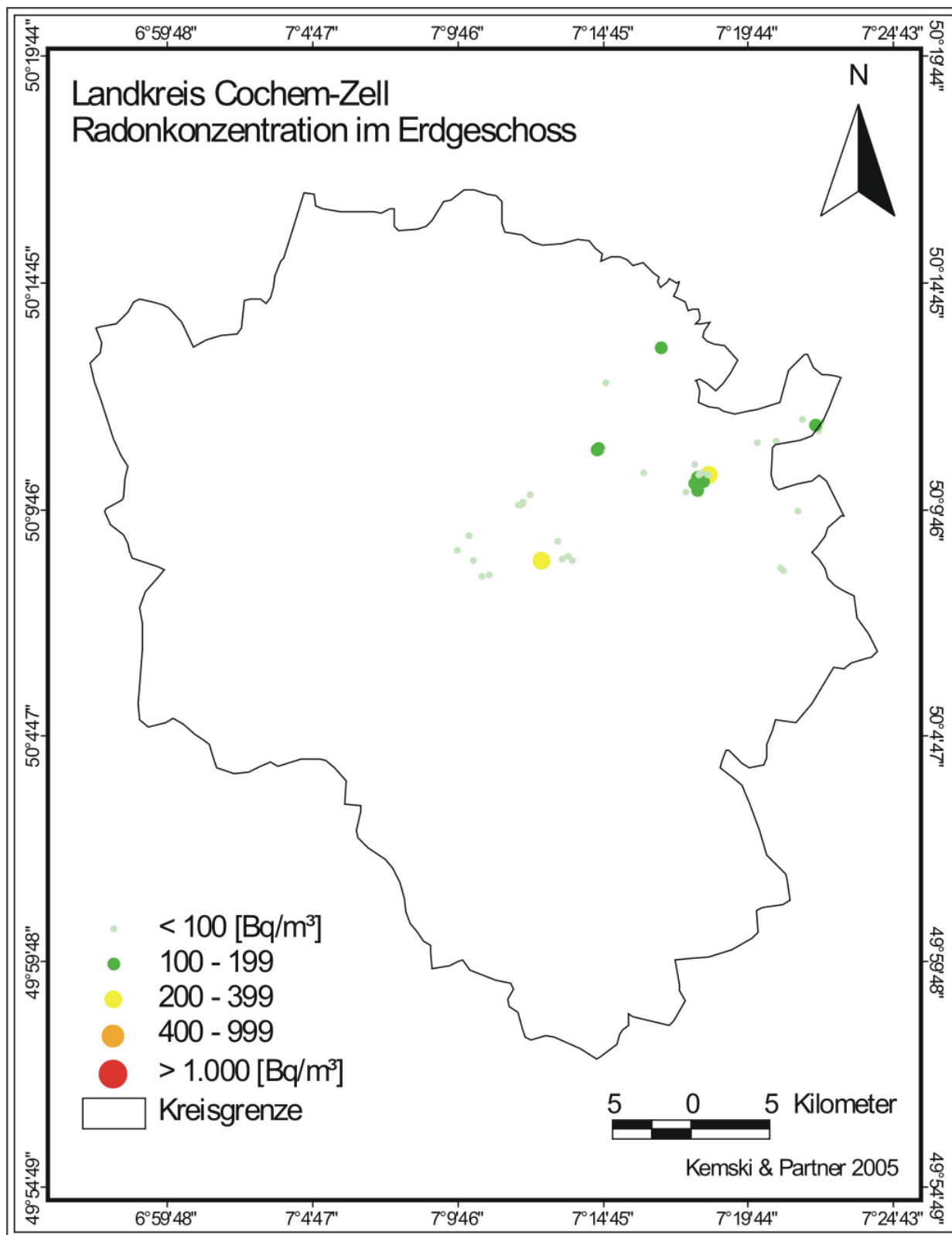


Abb. 34 b

Messwerte im Landkreis Cochem-Zell: Erdgeschoss

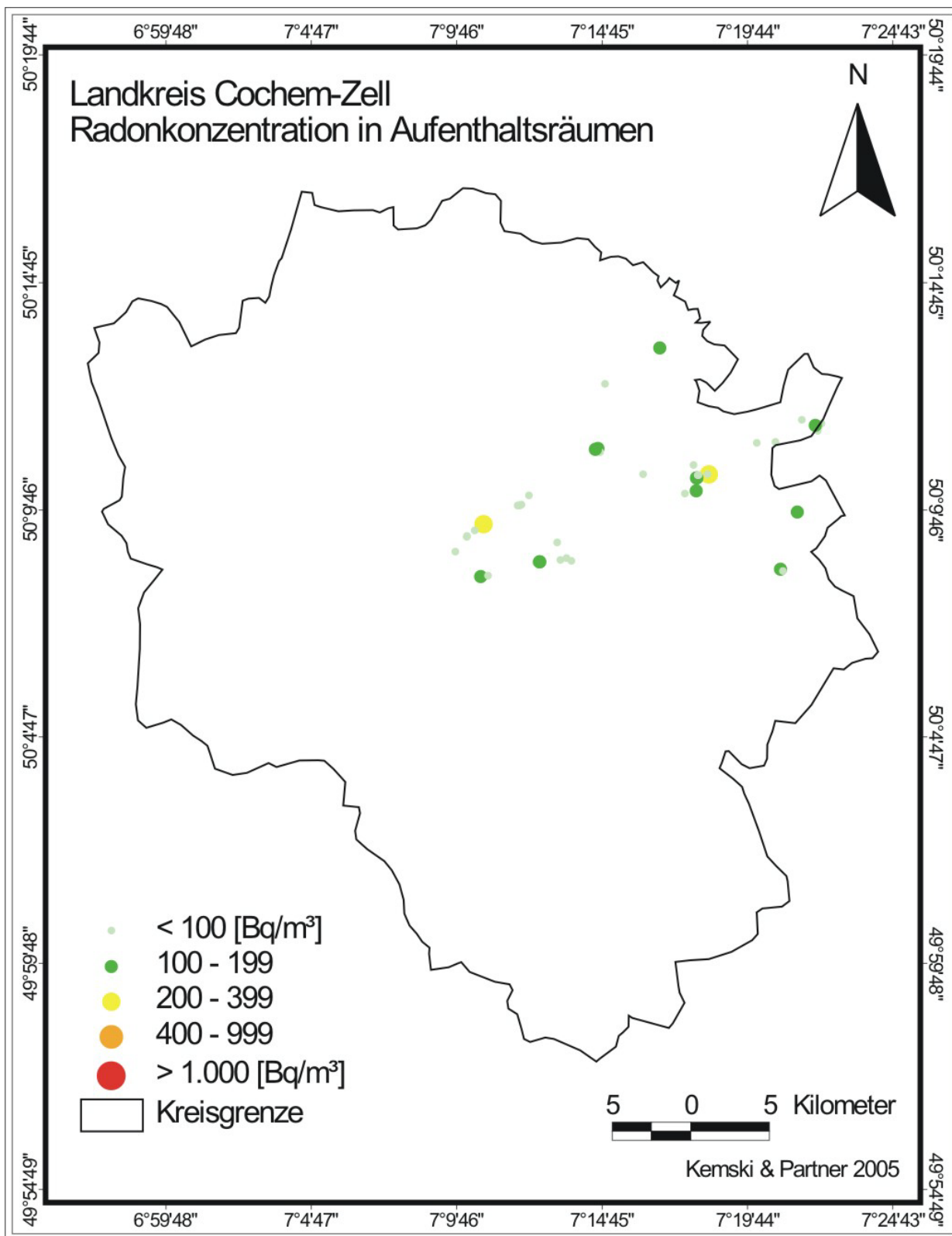


Abb. 34 c
Messwerte im Landkreis Cochem-Zell: Aufenthaltsräume

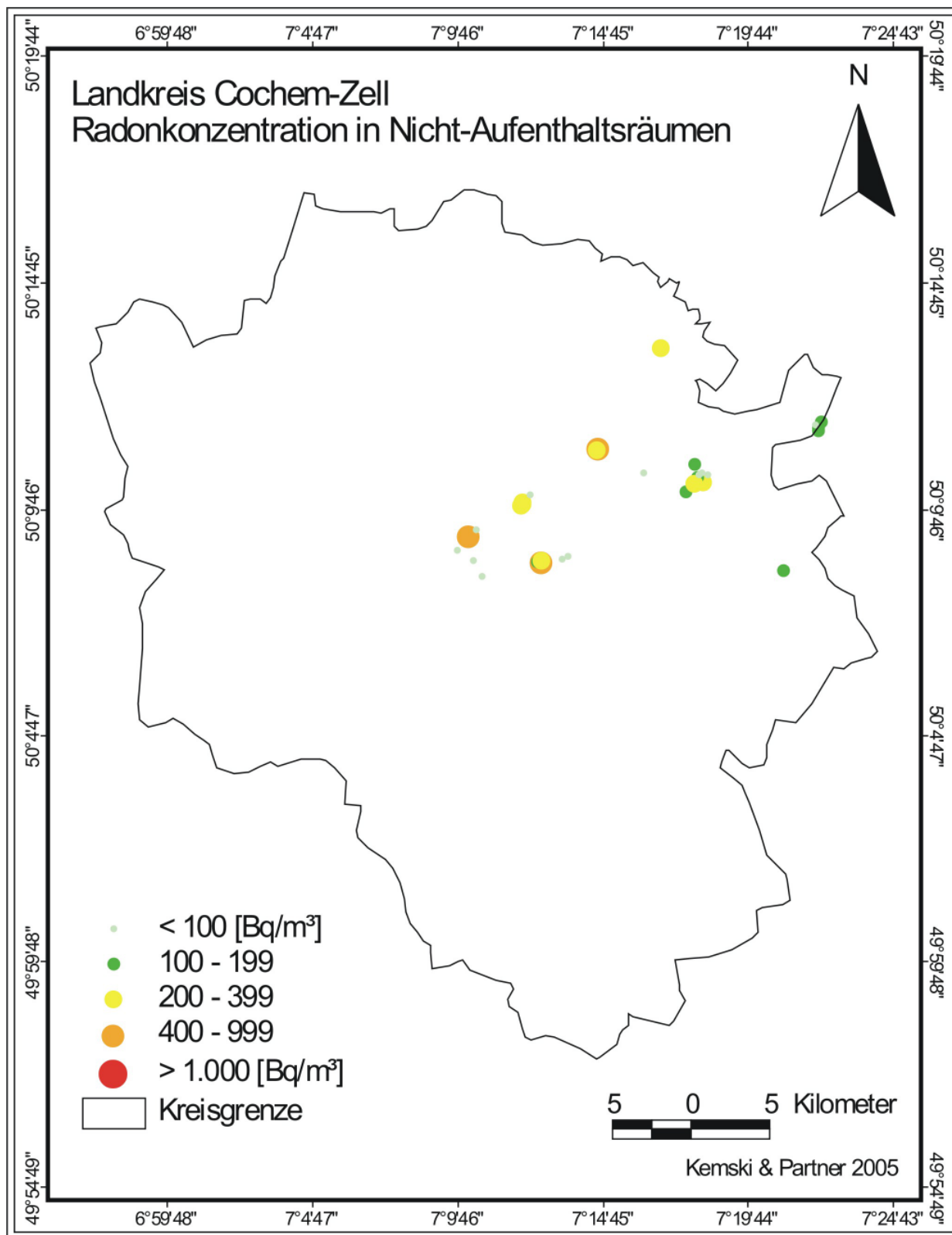


Abb. 34 d

Messwerte im Landkreis Cochem-Zell: Nicht-Aufenthaltsräume

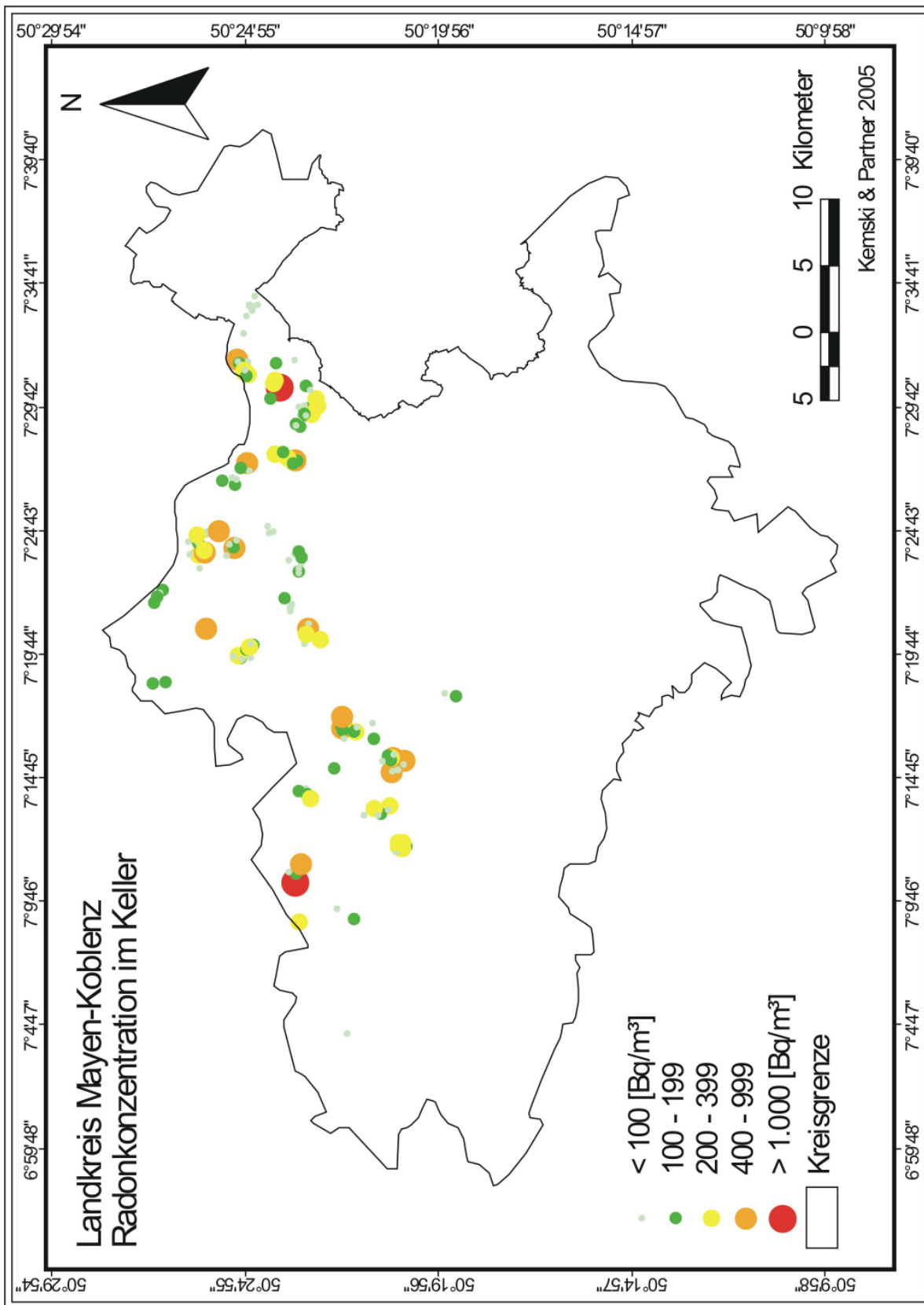


Abb. 35 a
Messwerte im Landkreis Mayen Koblenz: Keller

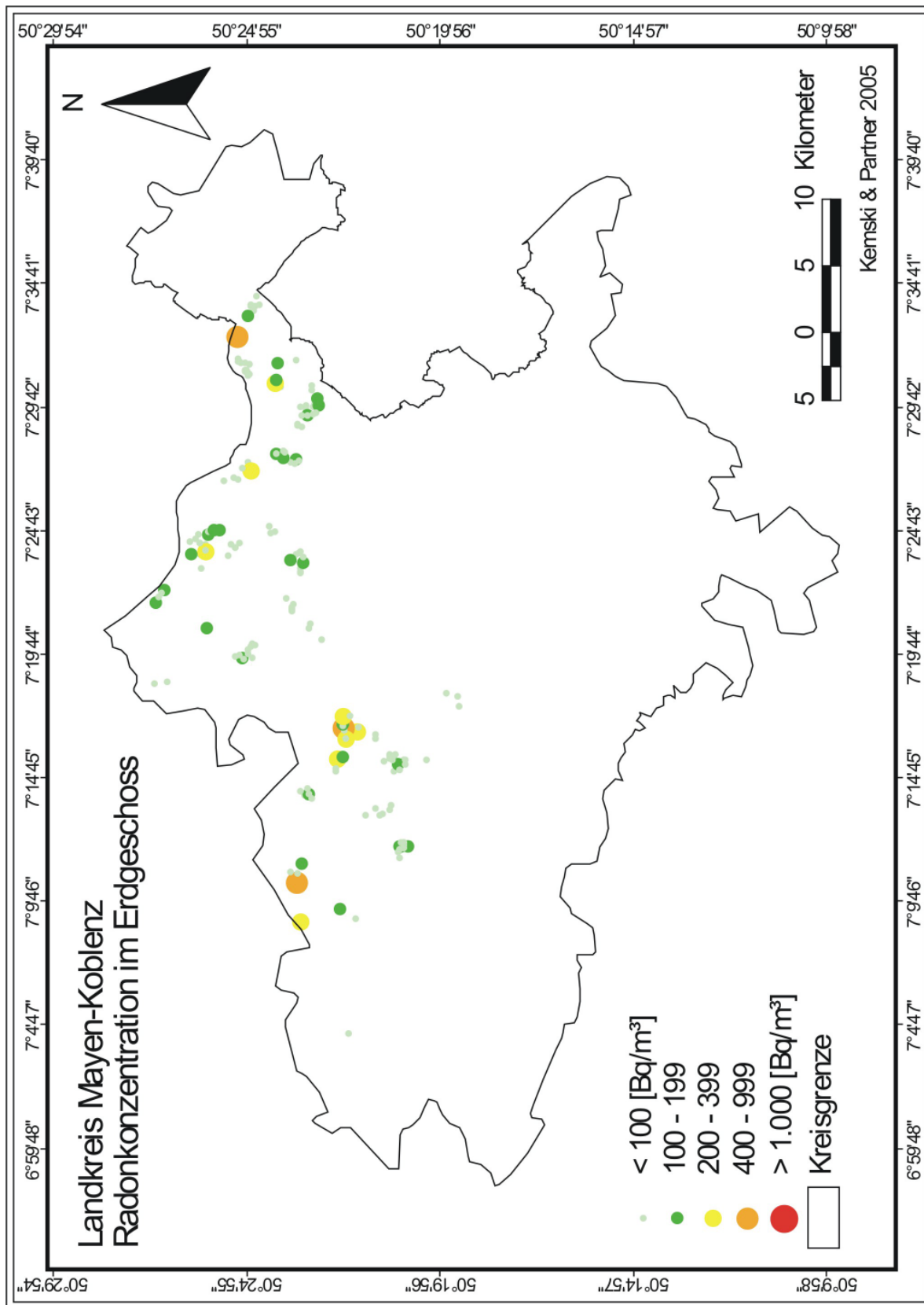


Abb. 35 b
Messwerte im Landkreis Mayen-Koblenz: Erdgeschoss

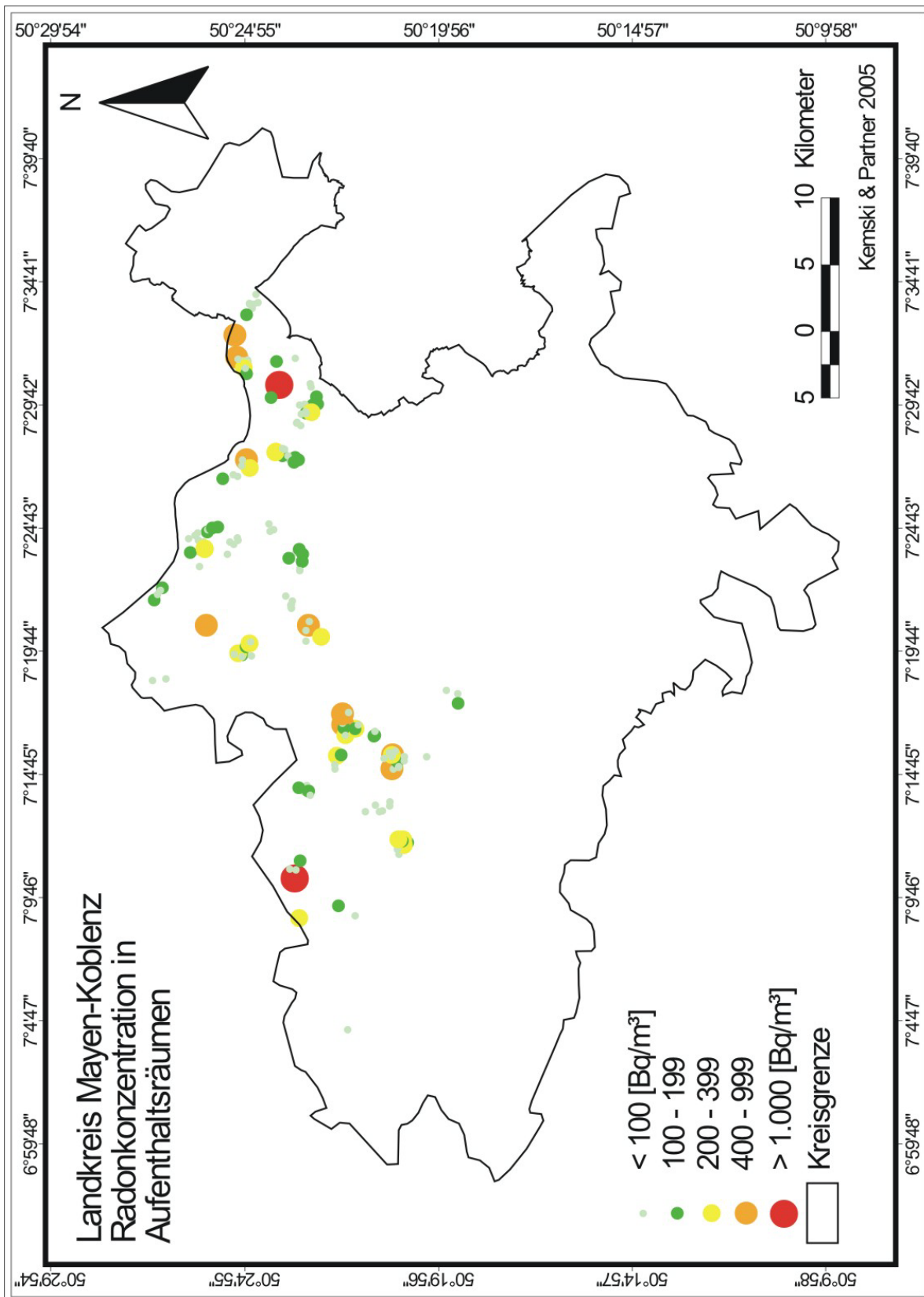


Abb. 35 c

Messwerte im Landkreis Mayen-Koblenz: Aufenthaltsräume

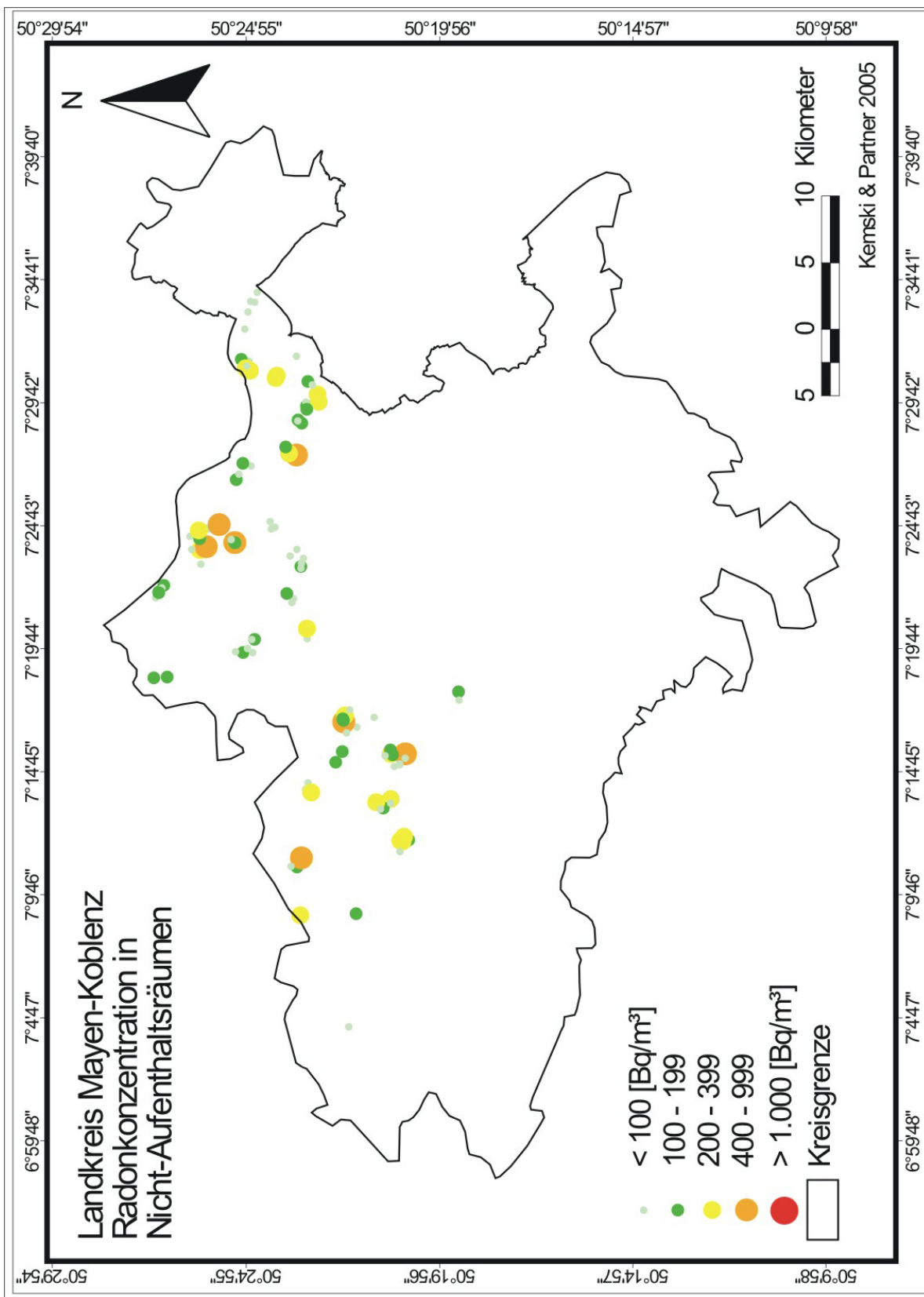


Abb. 35 d

Messwerte im Landkreis Mayen-Koblenz: Nicht-Aufenthaltsräume

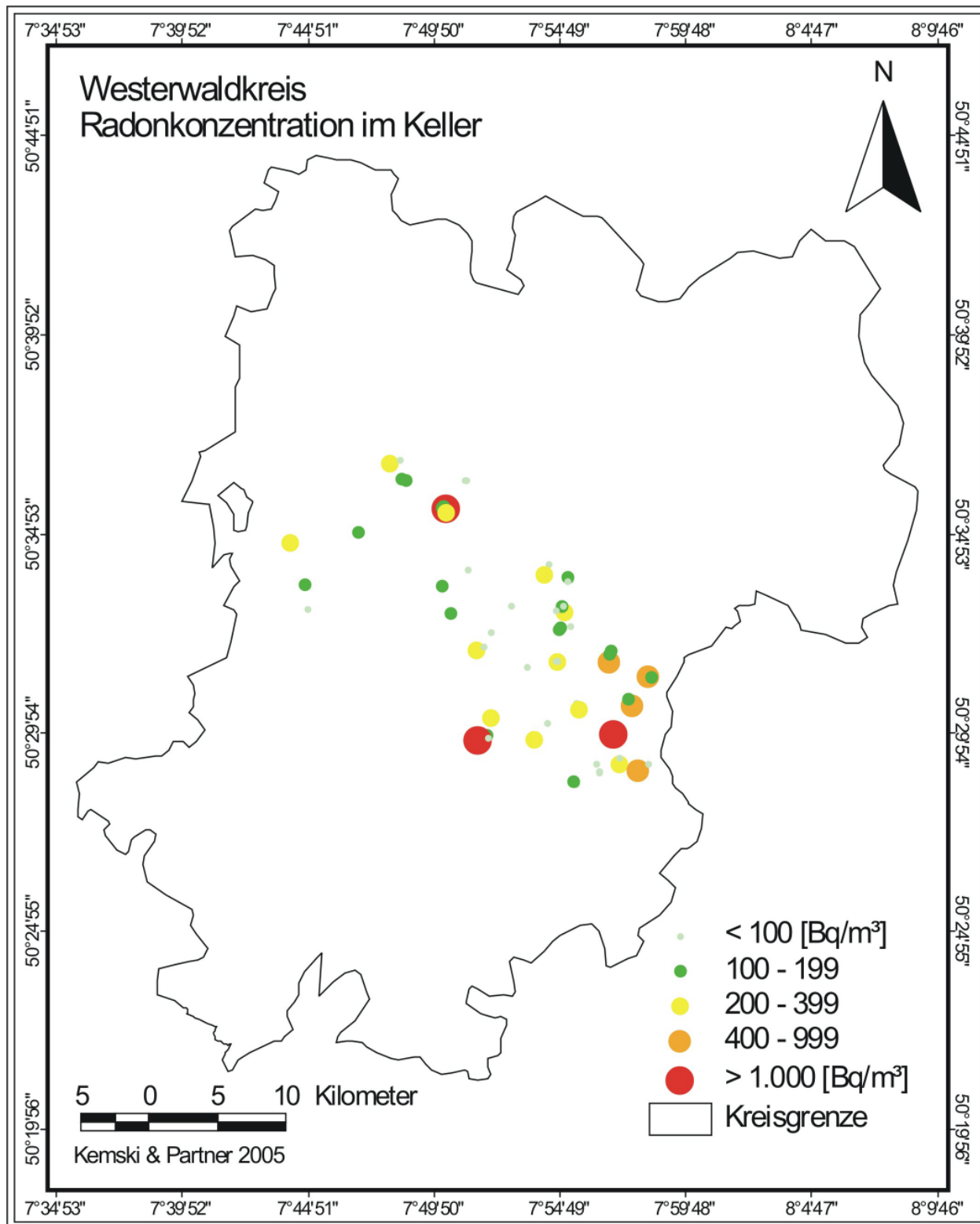


Abb. 36 a
Messwerte im Westerwaldkreis: Keller

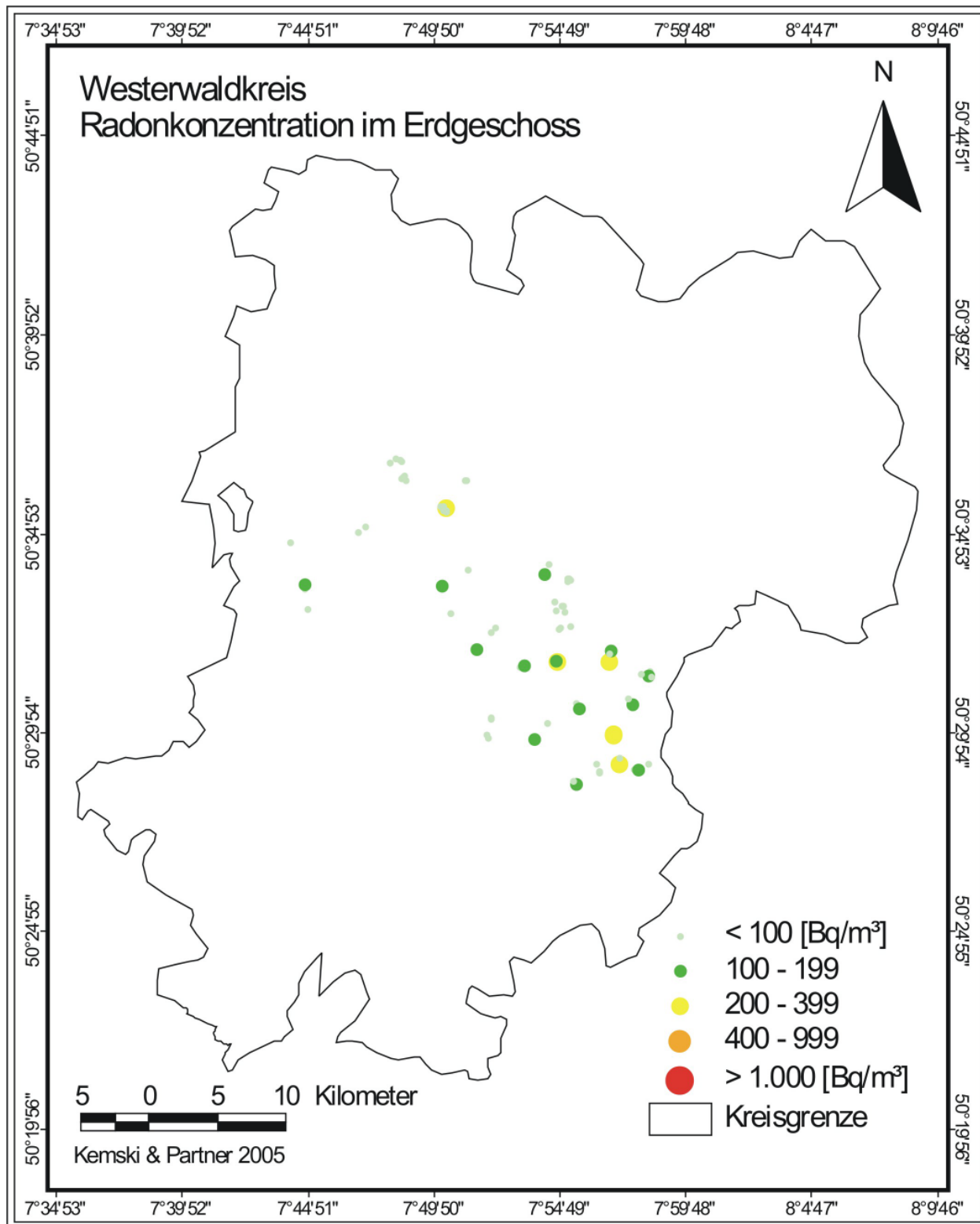


Abb. 36 b
Messwerte im Westerwaldkreis: Erdgeschoss

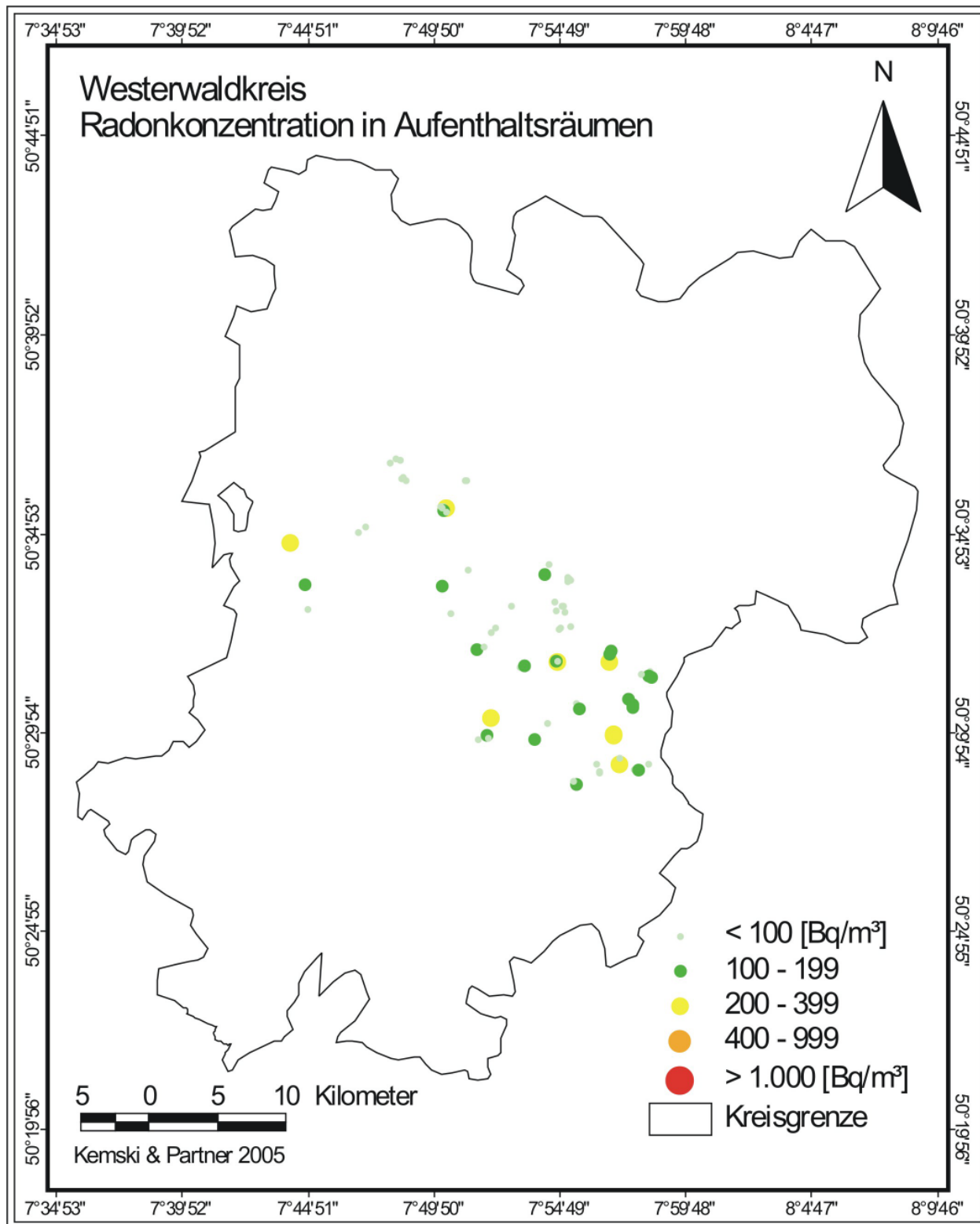


Abb. 36 c

Messwerte im Westerwaldkreis: Aufenthaltsräume

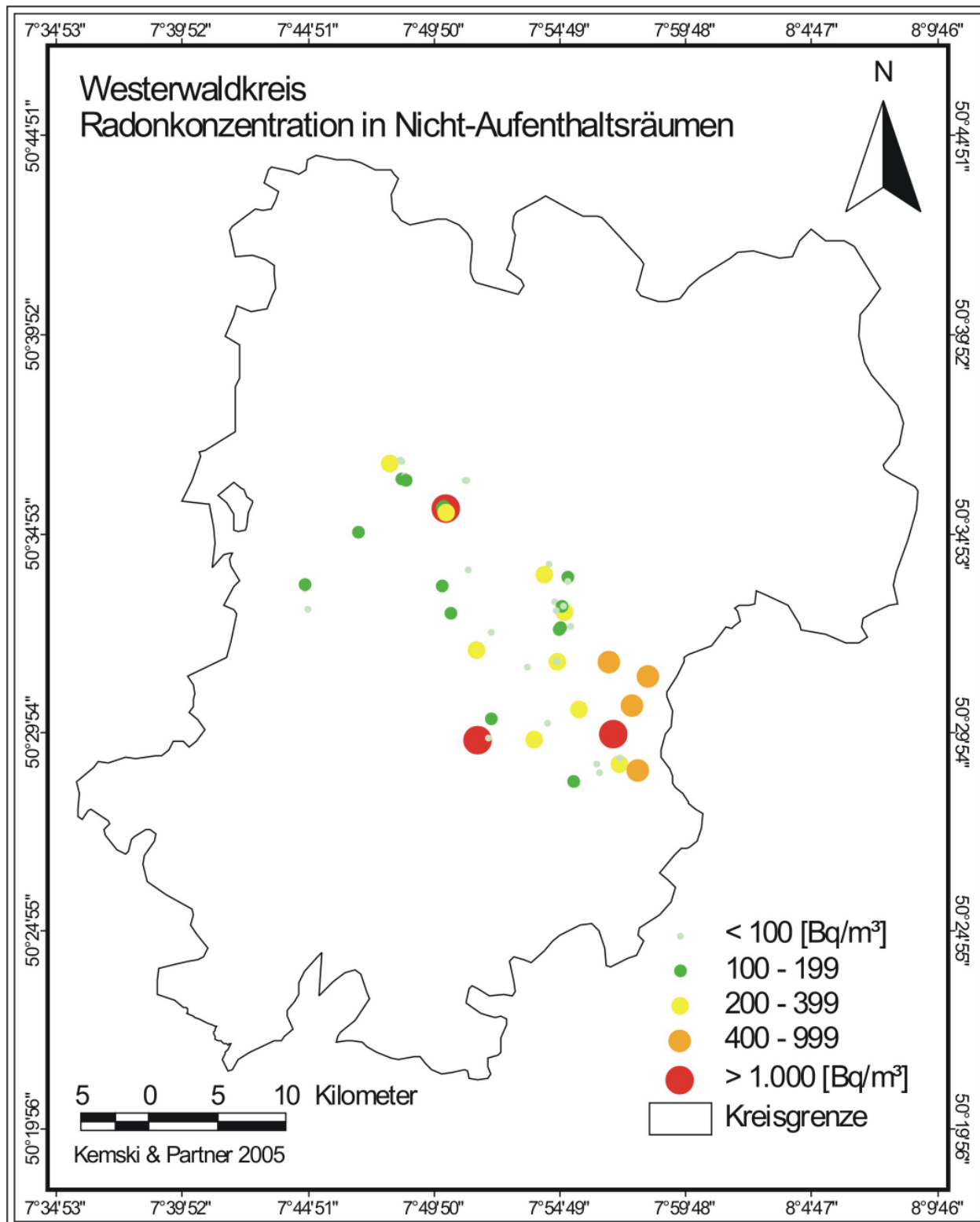


Abb. 36 d
Messwerte im Westerwaldkreis: Nicht-Aufenthaltsräume

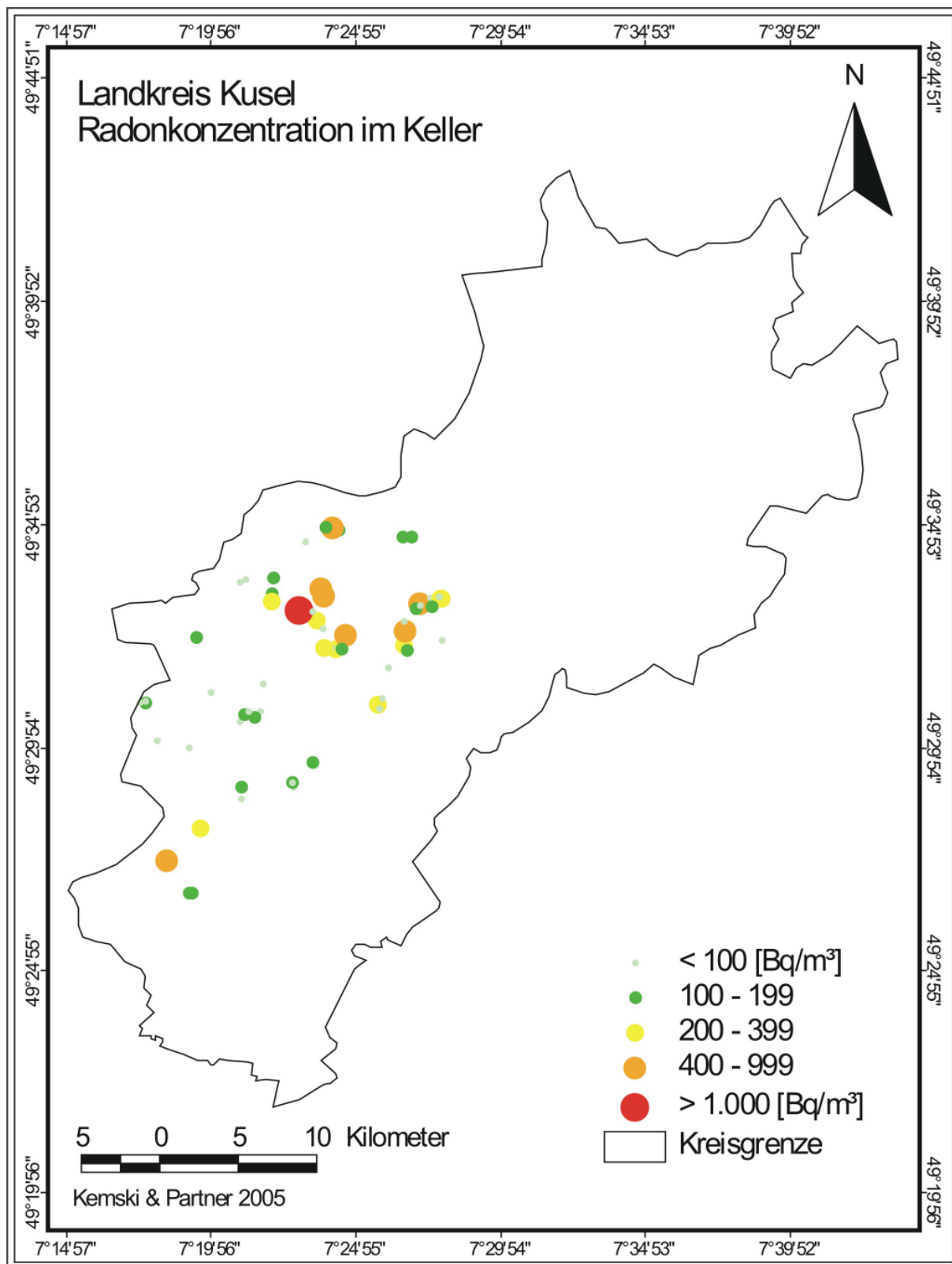


Abb. 37 a
Messwerte im Landkreis Kusel: Keller

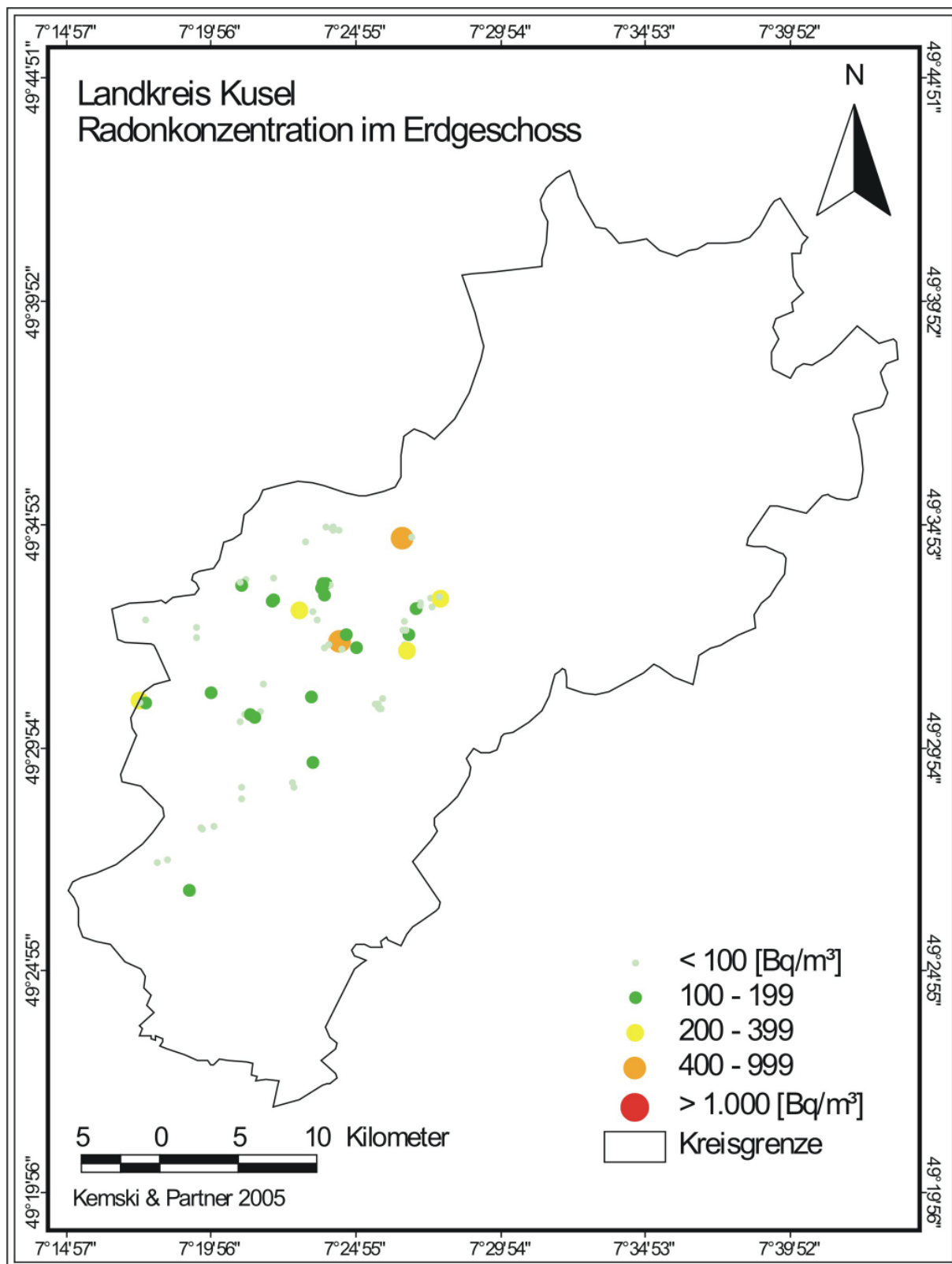


Abb. 37 b
Messwerte im Landkreis Kusel: Erdgeschoss

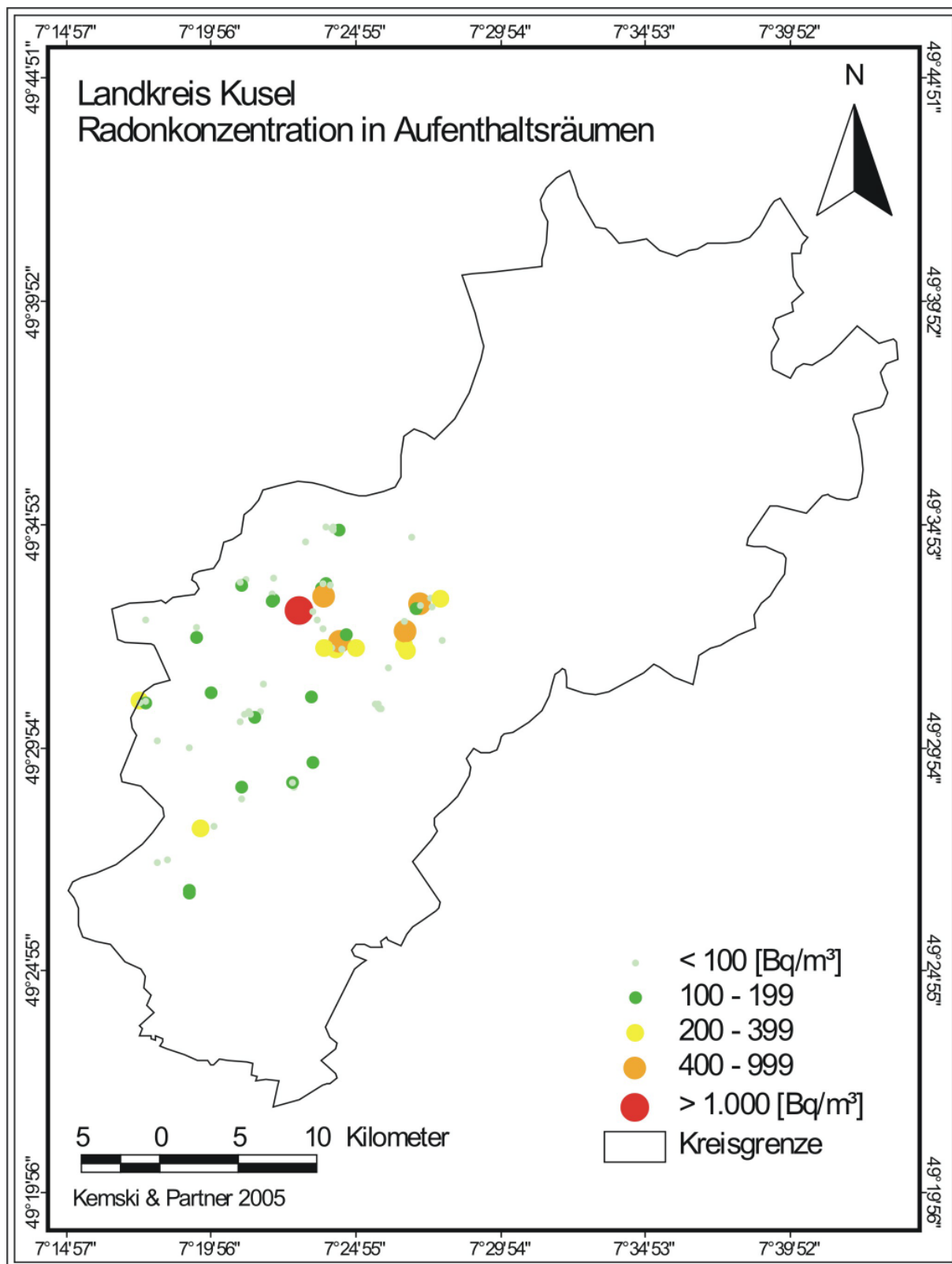


Abb. 37 c

Messwerte im Landkreis Kusel: Aufenthaltsräume

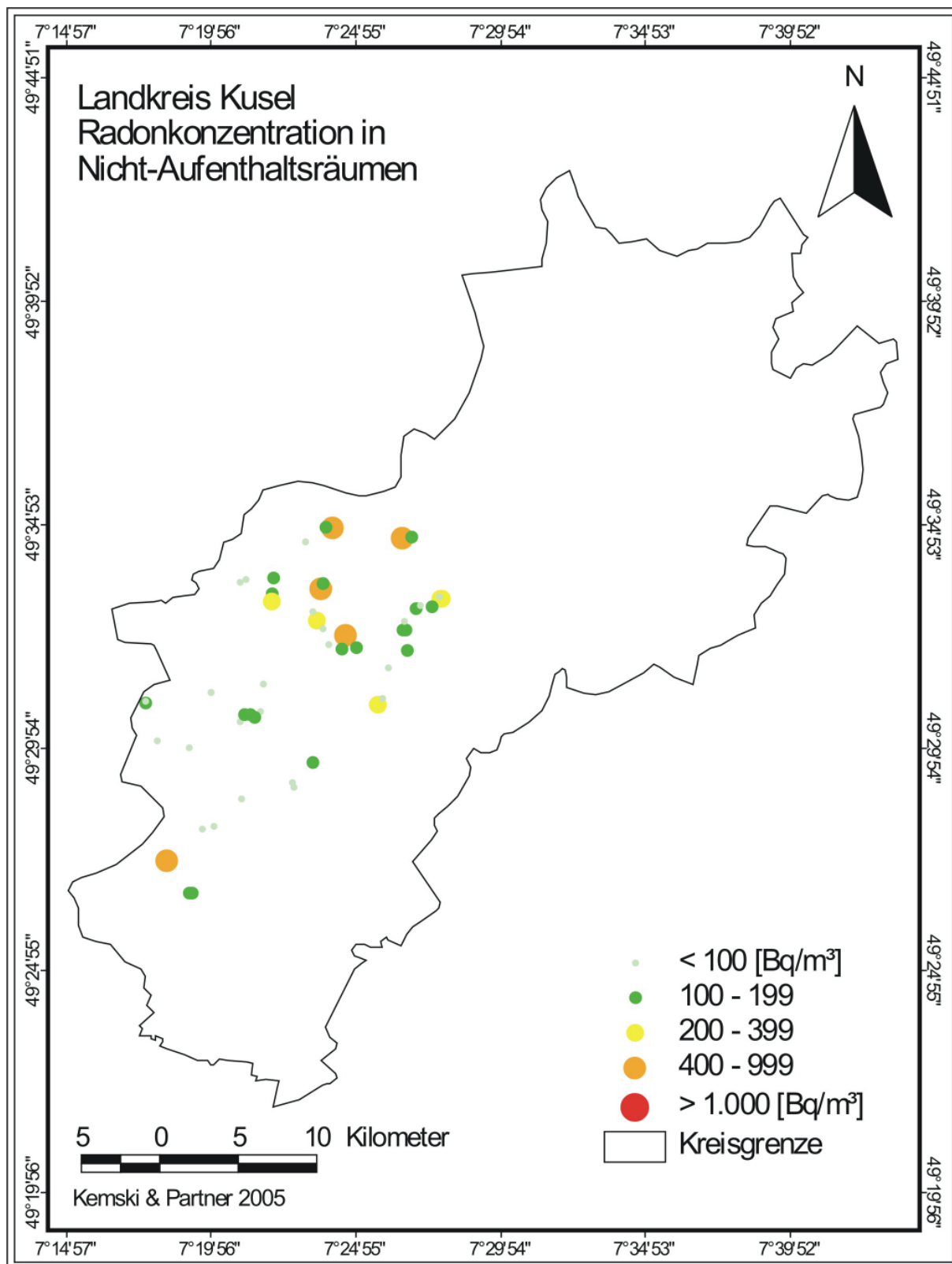


Abb. 37 d

Messwerte im Landkreis Kusel: Nicht-Aufenthaltsräume

5 Vergleich mit anderen Messkampagnen

In den vergangenen Jahren wurden durch unsere Firma umfangreiche Untersuchungen zur Radonraumlufkonzentration in zahlreichen Regionen Deutschlands durchgeführt. Die noch deutlichen Unterschiede in der Bausubstanz zwischen alten und neuen Bundesländern erlauben keinen generalisierten deutschland-weiten Vergleich aller Radonmesswerte. Die rheinland-pfälzischen Messwerte können daher sinnvoll stets nur mit Ergebnissen aus den alten Bundesländern verglichen werden.

Ein Vergleich von 30 Landkreisen mit jeweils mehr als 20 Hausmessungen pro Landkreis sowie den aktuell untersuchten vier Landkreisen zeigt den klaren Zusammenhang zwischen Boden- und Raumlufkonzentrationen im Keller (Abb. 38). Die Landkreise Kusel und Westerwald liegen dabei mit an der Spitze aller bisherigen Untersuchungsgebiete.

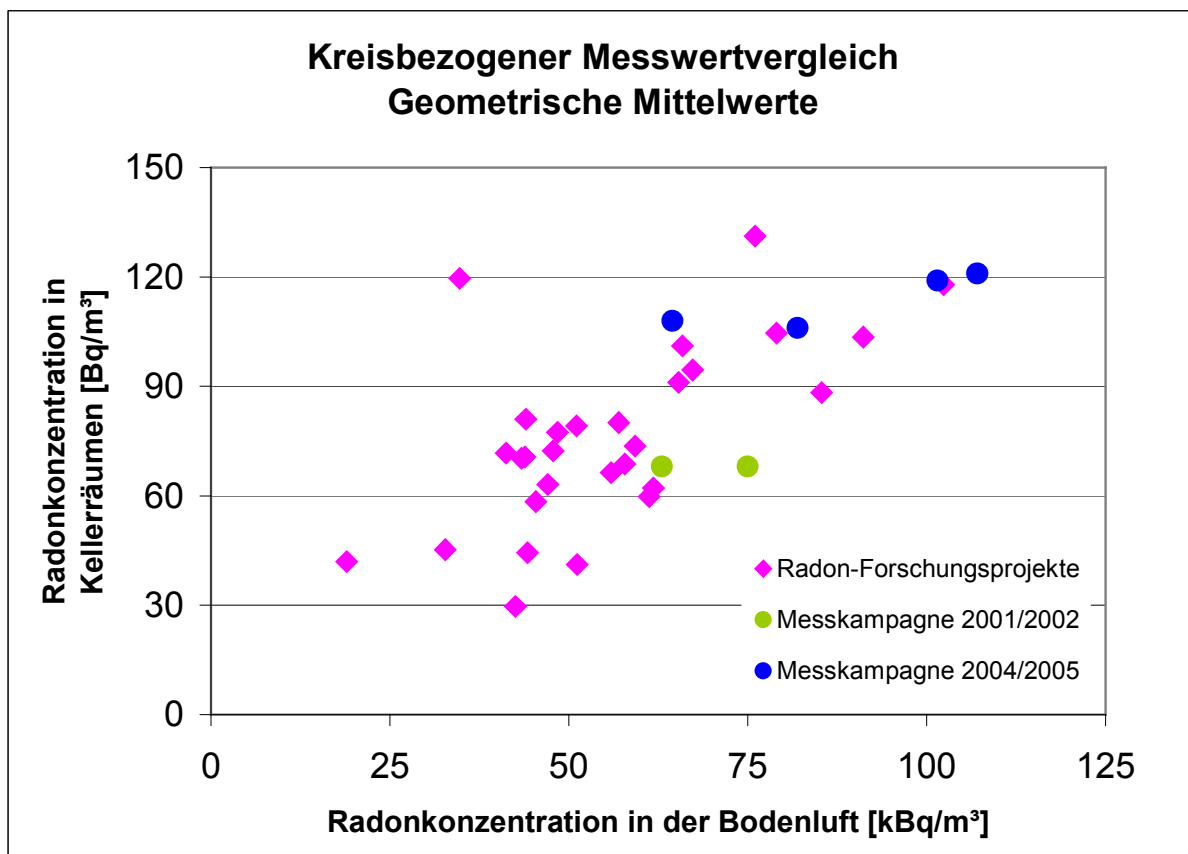


Abb. 38

Vergleich zwischen der Radonkonzentration in Boden- und Raumluf in Landkreisen mit mehr als 20 Hausmessungen/Landkreis

Auf Basis des selben Datenbestandes wurden Überschreitungshäufigkeiten von 200 und 400 Bq/m³ im Keller und Erdgeschoss berechnet (Abb. 39 und 40).

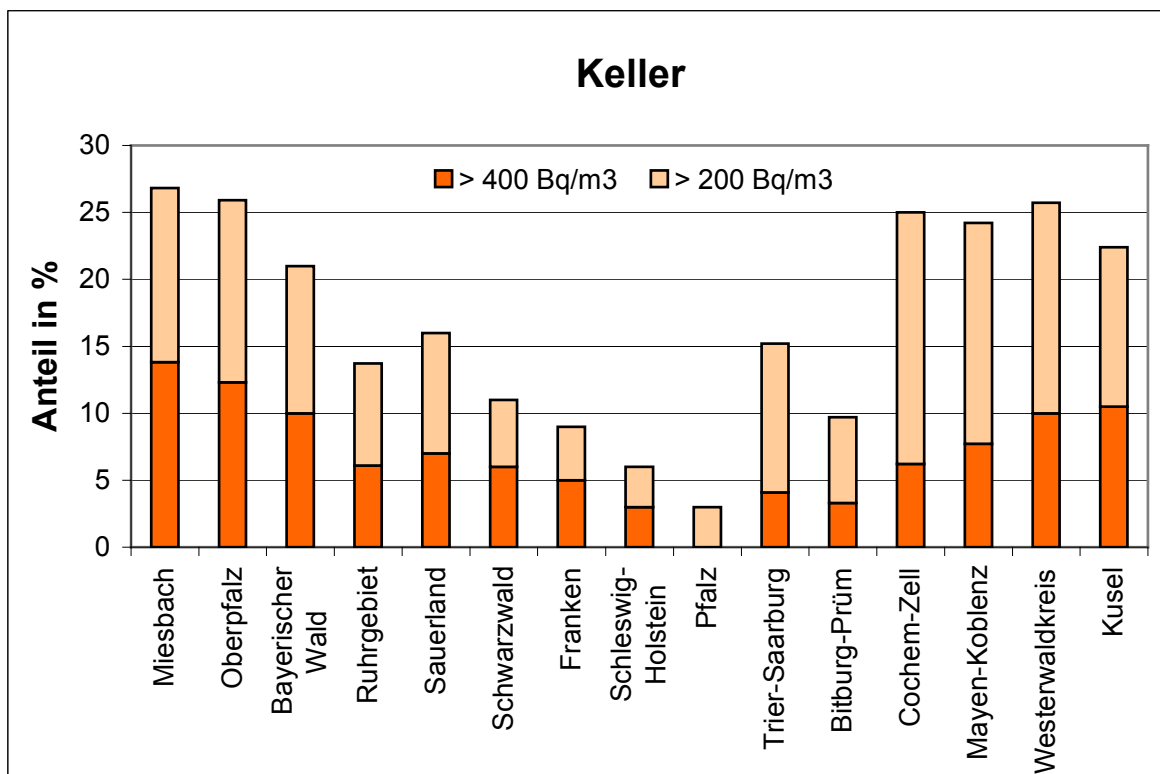


Abb. 39
 Prozentuale Überschreitungshäufigkeiten in Kellerräumen in verschiedenen regionalen Untersuchungsgebieten in Deutschland

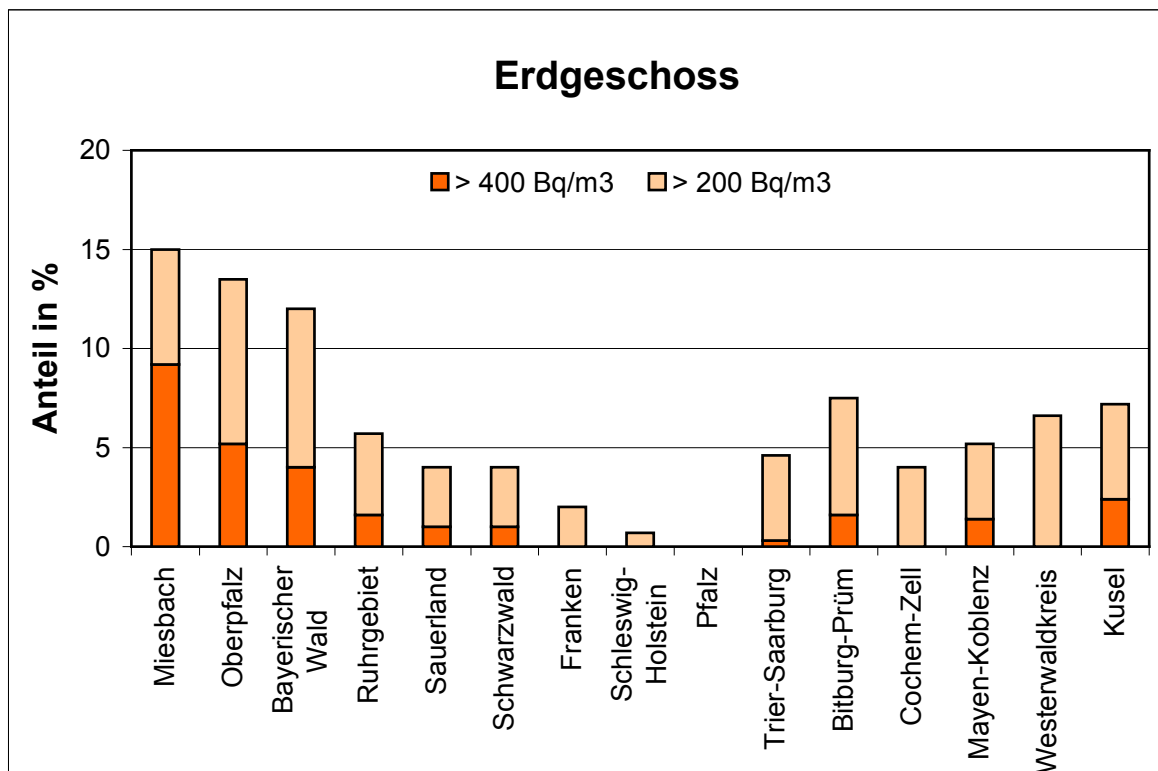


Abb. 40
 Prozentuale Überschreitungshäufigkeiten in Erdgeschossräumen in verschiedenen regionalen Untersuchungsgebieten in Deutschland

Die Überschreitungshäufigkeiten in Kellerräumen liegen in gleicher Größenordnung wie bei den bayerischen Häusern, was durch die vergleichbar hohen Bodenluftkonzentrationen in den untersuchten Gebieten plausibel ist. Innerhalb von Rheinland-Pfalz sind folgerichtig die Überschreitungshäufigkeiten in der aktuellen Messkampagne höher als in den Landkreisen Trier-Saarburg und Bitburg-Prüm. In Erdgeschossräumen dagegen sind die Überschreitungshäufigkeiten innerhalb der untersuchten Gebiete in Rheinland-Pfalz vergleichbar; sie liegen aber deutlich niedriger als in den Regionen in Bayern. Bei radon-relevanten Baumerkmale konnten keine erheblichen Unterschiede festgestellt werden, so dass eine plausible Erklärung für die relativ geringe Radonmigration vom Keller ins Erdgeschoss z.Zt. nicht möglich ist.

6 Fazit

Die vier Landkreise Cochem-Zell, Mayen-Koblenz, Westerwald und Kusel sind aufgrund erhöhter Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft für ein Radonraumlufmessprogramm ausgesucht worden. Die Messwertverteilungen passen sehr gut in das bisher bekannte Bild von Ergebnissen vergleichbarer Messkampagnen in den alten Bundesländern.

Ca. 25 % der Kellerräume weisen Radonkonzentrationen über 200 Bq/m^3 auf, bei den Erdgeschossräumen liegt dieser Anteil zwischen 4 und 7 %. Ältere Häuser mit Natursteinverbauung sind deutlich stärker belastet als junge Häuser mit Beton als Baumaterial. Auch hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass in der aktuellen Messkampagne in Referenzräumen insgesamt nur fünf Messwerte über 200 Bq/m^3 beobachtet wurden. Bei jungen, nach gängigen Baustandards errichteten und unterkellerten Häusern wird also in der Regel kein gravierendes Radonproblem auch in Regionen mit hohen Bodenluftkonzentrationen zu erwarten sein. Die Auswertung legt allerdings auch nahe, dass in Häusern anderen Bautyps und älteren Baujahres ein erhebliches Radonproblem für die Bewohner bestehen kann. Insbesondere über den geologischen Einheiten des Rotliegend und den vulkanisch geprägten Schichtgliedern des Känozoikums ist auch in anderen Gebieten bzw. Gemeinden ein erheblicher Anteil an Häusern zu erwarten, in denen erhöhte Radonkonzentrationen auftreten.