

RADONRAUMLUFTMESSUNGEN

IN DEN LANDKREISEN

DONNERSBERGKREIS UND BAD KREUZNACH

VERFASSER

PRIV.-DOZ. DR. HABIL. BERT REIN, 55276 OPPENHEIM

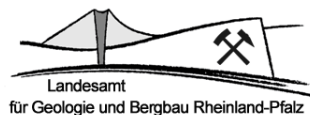
PROJEKTLEITUNG

GEOLDIR DR. J. HANEKE, LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU
RHEINLAND-PFALZ

AUFTRAGGEBER

LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ,
MINISTERIUM FÜR UMWELT, FORSTEN UND VERBRAUCHERSCHUTZ,
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, KLIMASCHUTZ, ENERGIE UND
LANDESPLANUNG

OPPENHEIM, 2013



Inhaltsverzeichnis

	Inhalts- und Abbildungsverzeichnis	I-IV
	Zusammenfassung	1
	Kartieraufgabe	4
	Messtechnik	4
1.	UMSETZUNG	5
1.1	Akquisition von Teilnehmern	5
1.2	Datenerfassung der Teilnehmer - Auswertung der Fragebögen	5
1.3	Rückruf der Dosimeter	6
1.4	Auswertung der Dosimeter	7
1.5	Meldung der Ergebnisse an Teilnehmer	8
2.	ERGEBNISSE	9
2.1	Charakterisierung der teilnehmenden Häuser nach Bauart	9
2.1.1	Haustyp	9
2.1.2	Unterkellerung	9
2.1.3	Topografische Lage	12
2.1.4	Baujahr	12
2.1.5	Kellerboden	12
2.1.6	Kellerdecke	16
2.1.7	Kelleranbindung an unterirdische Hohlräume	16
2.1.8	Feuchtesituation im Keller	16
2.1.9	Feuchtigkeitsschutz erdberührter Kellerwände	16
2.1.10	Wärmedämmung der Kellerwände	16
2.1.11	Wärmedämmung der oberirdischen Hauswände	22
2.1.12	Verglasung	22
2.1.13	Durchführung von Leitungen durch die Bodenplatte	22
2.1.14	Gründung mit wasserdichtem Beton oder Weißer Wanne	22
2.2	Darstellung der Radonmesswerte nach Etage und Raumnutzung	27
2.2.1	Kellergeschoss	29
2.2.2	Erdgeschoss	39
2.2.3	Erste oder höhere Etagen	52
2.2.4	Radonkonzentration in den Wohn-/Aufenthaltsräumen im Projektgebiet im überregionalen Vergleich	61
2.3	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Radonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Bauweise	63
2.4	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Radonkonzentrationen in Abhängigkeit vom Gebäudestandort	72
2.4.1	Topografische Lage	72
2.4.2	Geologischer Untergrund	74
2.4.2.1	Herkunft der Radonmutternuklide	74
2.4.2.2.	Radonpotenzial der Gesteine im Projektgebiet	78
2.4.2.3.	Radonaktivitätskonzentrationen in Häusern nach Geologie	80
3.	Einordnung der Ergebnisse im landesweiten Vergleich	90

4. REFERENZEN 95

Abbildungsverzeichnis

1.1	Siedlungsflächen im Projektgebiet	8
2.1	Teilnehmer nach Haustyp.	10
2.2	Teilnehmer nach Unterkellerung.	11
2.3	Teilnehmer nach topografischer Lage.	13
2.4	Teilnehmer nach Baujahr.	14
2.5	Teilnehmer nach Kellerboden.	15
2.6	Teilnehmer nach Kellerdecke.	17
2.7	Anbindung an unterirdische Hohlräume.	18
2.8	Teilnehmer nach Feuchtesituation im Keller.	19
2.9	Teilnehmer nach Feuchteschutz erdberührter Kellerwände.	20
2.10	Teilnehmer nach Wärmedämmung der Kellerwände.	21
2.11	Teilnehmer nach Wärmedämmung der oberirdischen Hauswände.	23
2.12	Teilnehmer nach Verglasung.	24
2.13	Teilnehmer nach Bodenplattendurchführung.	25
2.14	Teilnehmer nach Gründung.	26
2.15	Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Wohnräumen in Deutschland.	27
2.16	Nutzungsarten der Dosimeteraufstellungsorte im Kellergeschoss.	28
2.17	Radonaktivitätskonzentrationen im Kellergeschoss.	30
2.18	Radonaktivitätskonzentrationen in Wohnzimmern im Kellergeschoss.	31
2.19	Radonaktivitätskonzentrationen in Kinderzimmern im Kellergeschoss.	32
2.20	Radonaktivitätskonzentrationen in Schlafzimmern im Kellergeschoss.	33
2.21	Radonaktivitätskonzentrationen in Arbeitszimmern im Kellergeschoss.	34
2.22	Radonaktivitätskonzentrationen in Hobbyräumen im Kellergeschoss.	35
2.23	Radonaktivitätskonzentrationen in sonstig genutzten Räumen im Kellergeschoss.	37
2.24	Radonaktivitätskonzentrationen in Räumen ohne Angabe der Nutzung im Kellergeschoss.	38
2.25	Nutzungsarten der Dosimeteraufstellungsorte im Erdgeschoss.	39
2.26	Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen.	40
2.27	Radonaktivitätskonzentrationen in Wohnzimmern im Erdgeschoss.	41
2.28	Radonaktivitätskonzentrationen in Schlafzimmern im Erdgeschoss.	42
2.29	Radonaktivitätskonzentrationen in Arbeitszimmern im Erdgeschoss.	43
2.30	Radonaktivitätskonzentrationen in Kinderzimmern im Erdgeschoss.	44
2.31	Radonaktivitätskonzentrationen in Hobbyräumen im Erdgeschoss.	45
2.32	Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen mit einer sonstigen Nutzung.	46
2.33	Radonaktivitätskonzentrationen in Vorratsräumen im Erdgeschoss.	47
2.34	Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen mit keiner Angabe zur Nutzung.	48
2.35	Radonaktivitätskonzentration in Wohn-/Aufenthaltsräumen im Erdgeschoß in den Kreisen Bad Kreuznach und Donnersbergkreis im	50

	regionalen und bundesweiten Vergleich.	
2.36	Nutzungsarten der Dosimeteraufstellungsorte in der ersten oder in höheren Etagen.	52
2.37	Radonaktivitätskonzentrationen in der ersten oder in höheren Etagen.	53
2.38	Radonaktivitätskonzentrationen in Wohnzimmern in der ersten oder in höheren Etagen.	54
2.39	Radonaktivitätskonzentrationen in Schlafzimmern in der ersten oder in höheren Etagen.	55
2.40	Radonaktivitätskonzentrationen in Kinderzimmern in der ersten oder in höheren Etagen.	56
2.41	Radonaktivitätskonzentrationen in einem Hobbyraum in der ersten Etage.	57
2.42	Radonaktivitätskonzentrationen in Arbeitszimmern in der ersten oder in höheren Etagen.	58
2.43	Radonaktivitätskonzentrationen in Vorratsräumen in der ersten oder höheren Etagen.	59
2.44	Radonaktivitätskonzentrationen in Räumen mit sonstiger Nutzung in der ersten oder in höheren Etagen.	60
2.45	Radonaktivitätskonzentration in Wohn-/Aufenthaltsräumen aller Etagen in den Kreisen Bad Kreuznach und Donnersbergkreis im regionalen und bundesweiten Vergleich.	62
2.46	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und nach Etage.	64
2.47	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen nach Etage und Landkreis.	64
2.48	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Unterkellerung	65
2.49	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen nach Haustypen	65
2.50	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen nach Baujahr.	66
2.51	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Material des Kellerbodens.	66
2.52	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Gründungsausführung.	68
2.53	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Bodenplattendurchführungen.	68
2.54	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Feuchteschutz der Kellerwände.	69
2.55	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und kombinierter Feuchte-/Wärmeschutz der Kellerwände.	69
2.56	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Wärmeisolierung der Kellerwände.	71
2.57	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen und Wärmedämmung der oberirdischen Hauswände.	71
2.58	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen und Art der Kellerdecke.	72
2.59	Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen in der Raumluft nach topografischer Lage.	73
2.60	Ausschnitt aus der geologischen Karte, die Grundlage der Radonpotenzialanalyse des Saar-Nahe-Berglandes war.	76
2.61	Vereinfachte geologische Karte mit Raumluft radonkonzentrationen.	77

2.62	Radonpotenzial ausgesuchter stratigraphischer Einheiten mit Radonvorsorgegebietsklassifizierung (RVK)	79
2.63	Radonbodenluftpotenzialkarte (100. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	81
2.64	Radonbodenluftpotenzialkarte (90. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	82
2.65	Radonbodenluftpotenzialkarte (75. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	83
2.66	Radonbodenluftpotenzialkarte (50. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	84
2.67	Radonbodenluftpotenzialkarte (arithmetisches Mittel) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	85
2.68	Radonbodenluftpotenzialkarte (geometrisches Mittel) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	86
2.69	Radonbodenluftpotenzialkarte (25. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	87
2.70	Radonbodenluftpotenzialkarte (10. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).	88
3.1	Statistische Kenngrößen der Verteilung der Radonkonzentrationen in Kellergeschossräumen unterschiedlicher Landkreise.	92
3.2	Statistische Kenngrößen der Verteilung der Radonkonzentrationen in Erdgeschossräumen unterschiedlicher Landkreise.	93
3.3	Statistische Kenngrößen der Verteilung der Radonkonzentrationen in Räumen höherer Etagen unterschiedlicher Landkreise.	94

Tabellenverzeichnis

1	Arithmetisches und geometrisches Mittel der Radonraumluftkonzentrationen in Abhängigkeit vom Radonpotenzial des Baugrundes und der Lage des Messraumes im Gebäude.	89
2	Vergleich der Landkreise für die Radonraumluftmessungen vorliegen	91

Zusammenfassung

In etwa 10-12% der Aufenthaltsräume in Deutschland werden nach Daten des Bundesamtes für Strahlenschutz mittlere Radonaktivitätskonzentrationen von 100 Bq/m³ überschritten. Im Projektgebiet Donnersbergkreis/Kreis Bad Kreuznach sind es rund 17%, die diesen Wert im Erdgeschoss überschreiten.

Radonkonzentrationen zwischen >100 und 200 Bq/m³ wurden im Projektgebiet 2,5 mal häufiger, >200 und 400 Bq/m³ viermal häufiger und >400 und 1000 Bq/m³ doppelt so häufig wie im Bundesdurchschnitt angetroffen. Nur in etwa jedem 3000. Aufenthaltsraum im Bundesgebietsdurchschnitt werden 1000 Bq/m³ überschritten. Im Projektgebiet Donnersbergkreis/Kreis KH tritt dieser Fall statistisch gesehen 25 mal häufiger auf.

Die Differenz zum Bundesdurchschnitt und damit das überdurchschnittlich häufige Vorkommen von höheren Radonkonzentrationen vergrößert sich somit mit zunehmender Radonkonzentration. Im Vergleich der beiden untersuchten Landkreise sind wiederum Aufenthaltsräume aus dem Kreis Bad Kreuznach überproportional mit höheren Radonkonzentrationen vertreten.

Der statistische Vergleich der Radonraumluftkonzentration mit in einem Parallelprojekt entstandenen Radonpotenzialkarten zur Radonbodenluftkonzentration zeigt, dass unabhängig von der Methode der Mittelwertbildung ein Anstieg der mittleren Radonkonzentration in den Räumen mit zunehmendem Radonpotenzial des Baugrundes (höhere Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft) zu erkennen ist.

Der Einfluss des Radonpotenzials im Baugrund ist dabei, wenn auch zunehmend schwächer, bis in die Obergeschosse oder höhere Etagen (hier als Obergeschoss zusammengefasst) nachweisbar.

Im Vergleich der bisher untersuchten Landkreise in Rheinland-Pfalz (BIT, COC, KH, KUS, MYK, TR, WW) nimmt der Donnersbergkreis über alle statistischen Parameter eine mittlere Position ein.

Das arithmetische Mittel der Radonkonzentration in Kellerräumen im Landkreis Bad Kreuznach ist das höchste bisher ermittelte, auch in den Maximalwerten der Radonkonzentration der Keller- und Erdgeschossräume führt der Landkreis Bad Kreuznach die Landkreise an. Der Landkreis Bad Kreuznach ist bisher der einzige, in

dem in Erdgeschossräumen Radonkonzentrationen über 1000 Bq/m^3 und in Kellerräumen über 10.000 Bq/m^3 gemessen wurden.

Die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen im Erdgeschoss und im Obergeschoss ist in nicht unterkellerten Häusern höher als in den unterkellerten. Teilunterkellerte Häuser ähneln eher den nicht unterkellerten.

Die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen ist in älterer und der jüngsten Bausubstanz höher. Dies gilt vor allem auch für nicht unterkellerte bis 1980 errichtete Gebäude. Die Radonkonzentration im Erdgeschoss der zwischen 1900 und 1960 gebauten Häuser zeigt eine starke Abhängigkeit davon, ob ein Keller vorhanden ist. Die unterkellerten Häuser nehmen eine intermediäre Position ein, während die nicht unterkellerten zu ähnlich hohen oder sogar höheren Radonkonzentrationen tendieren wie die älteste Bausubstanz.

In den nach 1980 errichteten unterkellerten Häusern sowie in den nicht unterkellerten zwischen 1981 und 2000 gebauten Häusern ist die Wahrscheinlichkeit hoher Radonkonzentrationen durchweg geringer als in der älteren Bausubstanz. Nicht unterkellerte Erdgeschossräume der jüngsten, seit dem Jahr 2001 errichteten Häuser verzeichnen wieder eine deutliche Zunahme der Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen ähnlich wie in den zwischen den Jahren 1961 und 1980 gebauten nicht unterkellerten Gebäuden.

Die Verwendung von WU-Beton / Weisse Wanne führt in den so gegründeten Gebäuden zu einer Erniedrigung der Wahrscheinlichkeit erhöhter Radonkonzentrationen im Vergleich zu Gebäuden in denen diese Art der Gründung nicht verwandt wurde. Die Erniedrigung wirkt sich am stärksten im Kellergeschoss aus, aber auch Erdgeschossräume profitieren davon im mittleren Konzentrationsbereich. Trotz Verwendung von WU-Beton/Weisser Wanne werden aber in 10% der Gebäude im Kellergeschoss 200 Bq/m^3 überschritten.

Die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen im Keller ist mit Ausnahme der höchsten Percentile in Gebäuden ohne Durchführung durch die Bodenplatte erstaunlicherweise im vorliegenden Datensatz höher als in Gebäuden mit einer

Bodenplatte mit Durchführung. Eine Fortpflanzung bis in die Erdgeschossräume ist nicht zu beobachten. In Teilen, vor allem in den höchsten Percentilen, trifft dort die gängige Erwartung niedrigerer Radonkonzentrationen bei Fehlen einer (schlecht abgedichteten) Durchführung durch die Bodenplatte zu.

Das Vorhandensein eines Feuchteschutzes der erdberührten Kellerwände gegen von außen angreifende Nässe ist ein wirksames Mittel die Radonkonzentration im Keller und im Erdgeschoss zu senken. Eine zusätzliche Wärmeisolierung der Kellerwände führt zu einer weiteren geringen Erniedrigung der Radonkonzentration.

In Gebäuden mit einer Kellerdecke aus gegossenem Beton oder aus Fertigelementen kann zum Teil eine geringere Radonbelastung in Erdgeschossräumen erwartet werden als in Gebäuden mit einer Kappendecke (gemauertes Gewölbe) oder einer sonstigen Kellerdecke.

Die topografische Lage der studienteilnehmenden Häuser wurde unterschieden in Kuppe, Oberhang, Mittelhang, Unterhang und Lage am Talboden. Im Kellergeschoss können oberhalb des Medianwertes in Tallagen vergleichsweise geringere Radonkonzentrationen erwartet werden als in Hanglagen. Von den Kellern in Hanglage ist oberhalb des 80. Perzentils die Radonsituation in Gebäuden am Unterhang am ungünstigsten. Diese Beobachtung trifft oberhalb des 70. Perzentils, teilweise schon ab dem 40. Perzentil, auch auf Erdgeschossräume in Unterhanglage zu. Ein positiver Effekt einer Tallage ist in den Erdgeschossräumen aber nicht mehr erkennbar.

Kartieraufgabe

In den Landkreisen Bad Kreuznach und Donnersbergkreis (Abb. 1.1, S. 7) sollten in jeweils zwei Räumen und in jeweils 250 Haushalten die Radonaktivitätskonzentration über ein Jahr mit Kernspurdetektoren gemessen werden. Die zu akquirierenden Haushalte sollten sich möglichst in 1-2 geschossigen Wohnhäusern befinden. Öffentliche Gebäude sollten möglichst nicht untersucht werden. Ein Dosimeter sollte im Erdgeschoss möglichst in dem am häufigsten genutzten Raum ausgelegt werden, das zweite Dosimeter sollte im Kellergeschoss möglichst auch in einem häufig genutzten Raum aufgestellt werden. Sofern kein Kellergeschoss vorhanden ist, wurde empfohlen das zweite Dosimeter in einer höheren Etage zu deponieren.

Alle Studienteilnehmer erhielten einen Fragebogen mit Fragen zu dem Haus und dem Aufstellungsort der Dosimeter.

Die teilnehmenden Haushalte sollten über möglichst viele Gemeinden verteilt sein.

Nach einem Jahr Expositionszeit sollten die Dosimeter zurückgerufen und im Labor ausgewertet werden. Die individuellen Ergebnisse sollten an die Versuchsteilnehmer zurückgemeldet werden, und das Datenkollektiv anschließend anonymisiert ausgewertet werden.

Messtechnik

Die Messung der Radonaktivitätskonzentration erfolgte nach DIN 25706, Teil 1 mit Kernspurdetektoren (Dosimeter, Exposimeter).

Die Lieferung der Dosimeter und deren Auswertung erfolgte durch die Firma ALTRAC, Berlin, die ihre Qualifikation durch erfolgreiche Teilnahmen an nationalen und internationalen Ringvergleichen jährlich nachweist und auch durch das Bundesamt für Strahlenschutz zertifiziert ist.

1. UMSETZUNG

1.1 Akquisition von Teilnehmern

In der Presse, im Rundfunk und bei den Landräten und Verbandsbürgermeistern wurde für die Unterstützung des Projektes und die Anwerbung von Studienteilnehmern geworben.

- ▶ Die meisten Teilnehmer meldeten sich direkt beim Auftragnehmer und die Dosimeter und die weiteren Unterlagen wurden an diese namentlich versandt.
- ▶ In einigen Verbandsgemeinde- und Stadtverwaltungen wurden auch kleinere Kontingente von Teilnehmerunterlagen (Anschreiben mit Projektbeschreibung, Hinweise zur Aufstellung der Dosimeter, Fragebogen, zwei Dosimeter, frankiertes Rücksendecouvert) in verschlossenen Umschlägen mit Codenummer zu Verteilung hinterlegt. Ein großes Kontingent von 50 Kits wurde über die Kreisverwaltung des Donnersbergkreises verteilt.

Die Akquisition der Teilnehmer erfolgte über einen Zeitraum von 6 Monaten von Mitte Dezember 2010 bis Mai 2011, weil vor allem die Akquisition von Teilnehmern im westlichen Teil des Kreis Bad Kreuznach und im östlichen Donnersbergkreis sich langwierig gestaltete. Im östlichen Teil des Landkreises Bad Kreuznach war die Nachfrage dagegen so hoch, dass etwa 30% mehr Anfragen vorlagen als Teilnahmemöglichkeiten zu vergeben waren.

Im Mai 2011 war das Ziel erreicht, dass in jedem Kreis 250 Teilnehmer gefunden waren, die die Teilnahmeunterlagen erhalten hatten.

1.2 Datenerfassung der Teilnehmer - Auswertung der Fragebögen

Der Fragebogen wurde durch das Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz zur Verfügung gestellt. Die Teilnehmer waren gebeten, die Fragebögen möglichst schnell nach Aufstellung der Dosimeter zu retournieren. Für etwa 10-15% der Teilnehmer erfolgte auch eine telefonische Beratung/Unterstützung beim Ausfüllen des Fragebogens.

Nach 3 Monaten wurde, sofern der Teilnehmer zu diesem Zeitpunkt bereits namentlich bekannt war, mit Brief/Email/Fax/Telefonat an die Rücksendung der bis dahin ausgebliebenen Fragebögen erinnert.

Bei der Recherche der Teilnehmer die Ihre Unterlagen nicht direkt vom Auftragnehmer erhalten hatten, fiel auf, dass in manchen Fällen bei den Verwaltungen der Name des Teilnehmers, der das Teilnehmer-Kit erhalten hatte nicht mehr bekannt war oder die Kouverts irrtümlich anonym verteilt wurden. Das gilt vor allem für alle über die Kreisverwaltung Donnersbergkreis (48 Stck), und für Teile der über die Stadtverwaltung Kirn (11) und die Verbandsgemeinde Eisenberg (12) verteilten Teilnehmerunterlagen.

Die Inhalte der Fragebögen wurden in eine Datenbank zur späteren Auswertung überführt. Die personenbezogenen Daten wurden auch räumlich getrennt von den objektbezogenen Daten in unterschiedlichen Datenbanken gespeichert, um die Anonymität der Objektdaten zu gewährleisten. Eine Verknüpfung der Inhalte beider Datenbanken ist nur über eine Kodeserie möglich.

1.3 Rückruf der Dosimeter

Die Teilnehmer wurden nach einem Jahr mit Brief/Email/Fax/Telefonat um Rücksendung der Dosimeter gebeten. Die erste Wahl war die Verwendung einer im Fragebogen angegebenen Emailadresse. Dies war in Teilen ein zeitaufwendiger Prozess, weil ein erstaunlich hoher Prozentsatz der Rückrufe trotz Weiterbestand der Emailadresse (keine Fehlermeldung) in nicht mehr oder selten gelesenen Email-Postfächern landete. Blieben mehrere Emails unbeantwortet wurden die Teilnehmer auf dem Postweg, in seltenen Fällen via Fax angeschrieben. blieb auch das ohne Erfolg wurde der telefonische Kontakt gesucht.

Die Probleme beim Rücklauf der Dosimeter können wie nachfolgend kategorisiert werden

Teilnehmer nicht bekannt (71)

U.a. wurden durch die Kreisverwaltung DBK, Stadtverwaltung Kirn, Verbandsgemeinde Eisenberg Dosimeter-Kits verteilt, aber die Teilnehmer nicht notiert

→ Kein gezielter Rückruf möglich,

Teilnehmer bekannt (67), aber

- ▶ Teilnehmer antworten nicht auf Briefe, Email, Anrufe
- ▶ Teilnehmer kündigten Rücksendung an ohne dies zu tun

- ▶ Teilnehmer verzogen
- ▶ Teilnehmer verstorben
- ▶ Teilnehmer sind erkrankt und/oder nicht auskunftsfähig
- ▶ Teilnehmer finden Dosimeter nicht mehr
 - Aufstellungsort vergessen,
 - Aufstellungsort bekannt, aber Dosimeter verschwunden
 - Teilnehmer sind umgezogen und haben Dosimeter vergessen
 - Havarien im Haus, Dosimeter weg/zerstört
- ▶ Teilnehmer haben die Dosimeter zu früh zurückgeschickt.
- ▶ Teilnehmer haben die Dosimeter nicht ausgepackt, weil sie sich nachträglich entschlossen haben doch nicht an der Studie teilzunehmen.
- ▶ Teilnehmer haben die Dosimeter irrtümlich trotz klaren Aufstellhinweises nicht ausgepackt und verpackt zur Auswertung zurückgesandt.

Mit 26 Teilnehmern ist eine verspätete Rücksendung im Laufe des Jahres 2013 vereinbart, nachdem diese ihre Dosimeter aus unterschiedlichen, durchaus nachvollziehbaren Gründen sehr viel später aufgestellt haben. Diese Dosimeter stehen, wie auch die vorgenannten, für die Auswertung zu diesem Bericht nicht zur Verfügung.

Für diesen Bericht konnten 337 Häuser (67,4%) und die zugehörigen Dosimeter ausgewertet werden. Die im weiteren Verlauf von 2013 noch zurückerwarteten 52 Dosimeter aus 26 Häusern (5,2%, erwarteter Gesamtrücklauf 72,6%) werden dahingehend überprüft, ob sie zu einem weiteren Erkenntnisgewinn beitragen. In diesem Fall wird ein Addendum zu diesem Bericht mit einer aktualisierten Auswertung/Kennzahlen angefertigt werden.

1.4 Auswertung der Dosimeter

Die Dosimeter wurden anonym bei der Radonmessstelle der Firma Altrac ausgewertet.

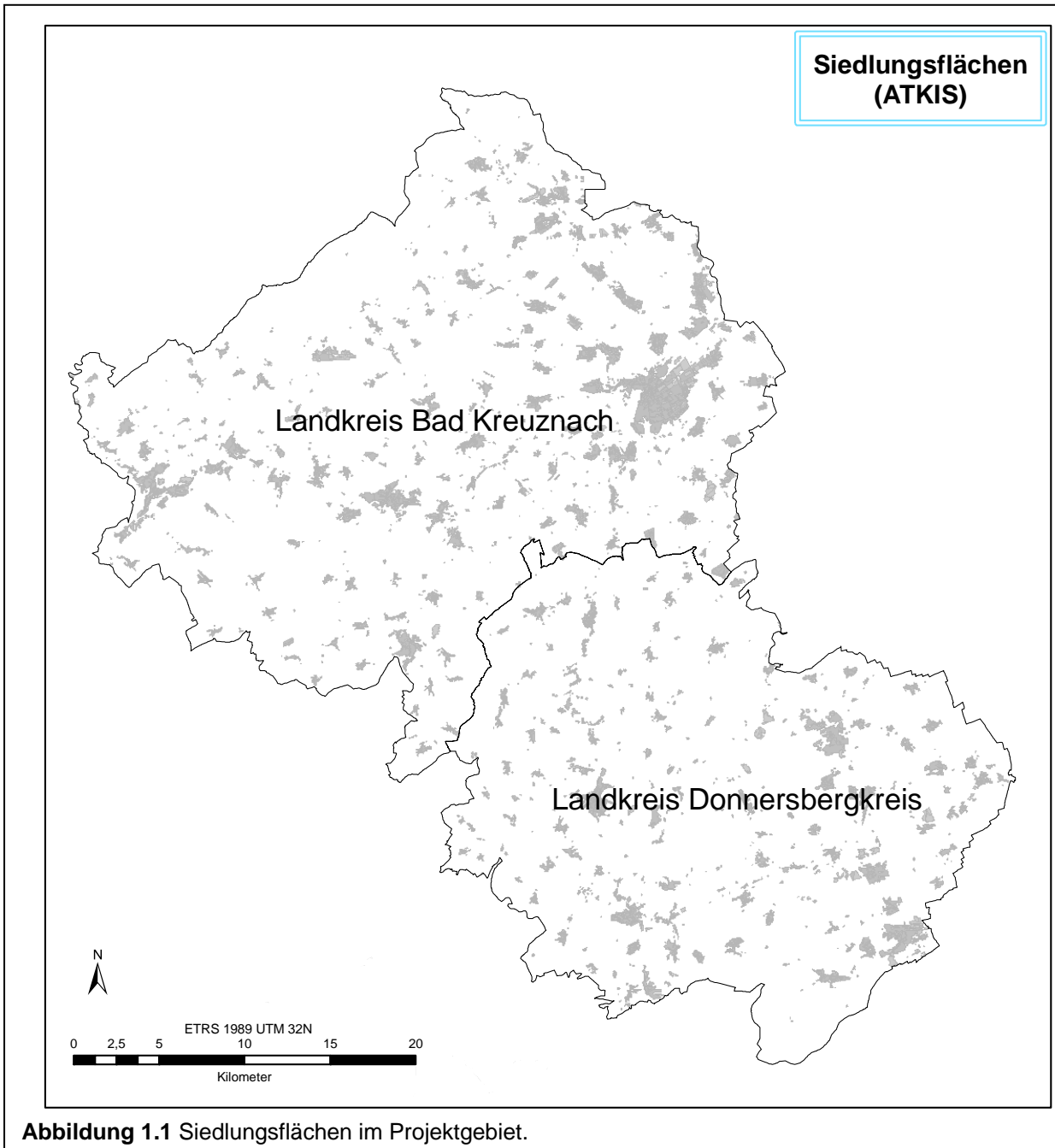


Abbildung 1.1 Siedlungsflächen im Projektgebiet.

1.5 Meldung der Ergebnisse an Teilnehmer

Nach Erhalt der Ergebnisse wurden diese an die jeweiligen Teilnehmer zurückgemeldet. Im Bedarfsfall erfolgte auch eine kostenfreie Beratung meist telefonisch zum Teil aber auch durch Vorortbesuche.

2. ERGEBNISSE

2.1 Charakterisierung der teilnehmenden Häuser nach Bauart

Die im Folgenden genannten Prozentzahlen beziehen sich auf den Anteil der Häuser/Wohnungen für die Dosimeter ausgewertet werden konnten. Der Donnersbergkreis wird im Folgenden auch mit „DB“, der Landkreis Bad Kreuznach als „KH“ abgekürzt.

2.1.1 Haustyp (Abb. 2.1, S. 10)

Von den an der Studie teilnehmenden Häuser wurden im Begleitfragebogen von den Bewohnern fast 75% als freistehende Einfamilienhäuser charakterisiert. Im Donnersbergkreis (DB) ist der Anteil dieses Haustyps mit fast 79% beinahe 10 Prozentpunkte höher als im Landkreis Bad Kreuznach (70%). Weitere 5,3% entfallen im Donnersbergkreis auf Doppelhaushälften (1,3%) und Reihenhäuser (4%). Im Lks. Bad Kreuznach (KH) sind diese Haustypen fast dreimal häufiger (14,1%) mit einem Anteil von 7,8% Reihenhäuser und 6,3% Doppelhaushälften an den Versuchsteilnehmern. Der Anteil der Mehrfamilienhäuser mit drei oder mehr Wohnungen im Gebäude ist im Lks. KH (9,9) doppelt so hoch wie im Donnersbergkreis (4,7%).

Bei den als sonstige Gebäude charakterisierten Gebäuden handelt es sich häufig um landwirtschaftliche Betriebe, in wenigen Fällen um öffentliche Gebäude oder Gewerberäume. Ihr Anteil an der Studie beträgt im Donnersbergkreis 10%, im Lks. KH nur 3,6%.

2.1.2 Unterkellerung (Abb. 2.2, S. 11)

Die meisten der an der Studie teilnehmenden Häuser sind voll- (68%) oder teilunterkellert (7%). Nur etwa ein Viertel der Versuchshäuser besitzt keine Unterkellerung (24%).

Der Anteil der vollunterkellerten Häuser ist im Lds. KH (70,7%) etwas höher als im Donnersbergkreis (64%).

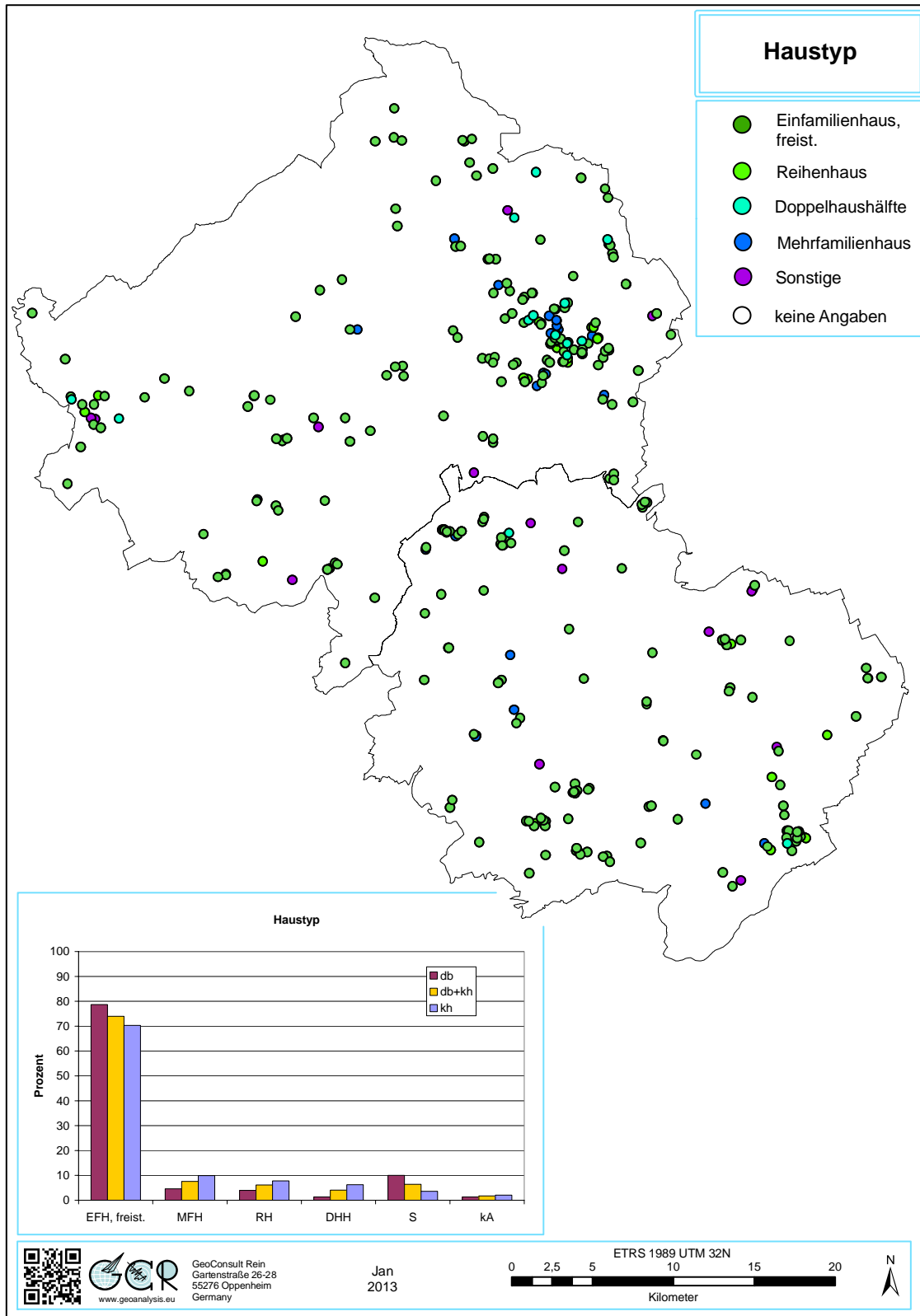


Abbildung 2.1 Teilnehmer nach Haustyp.

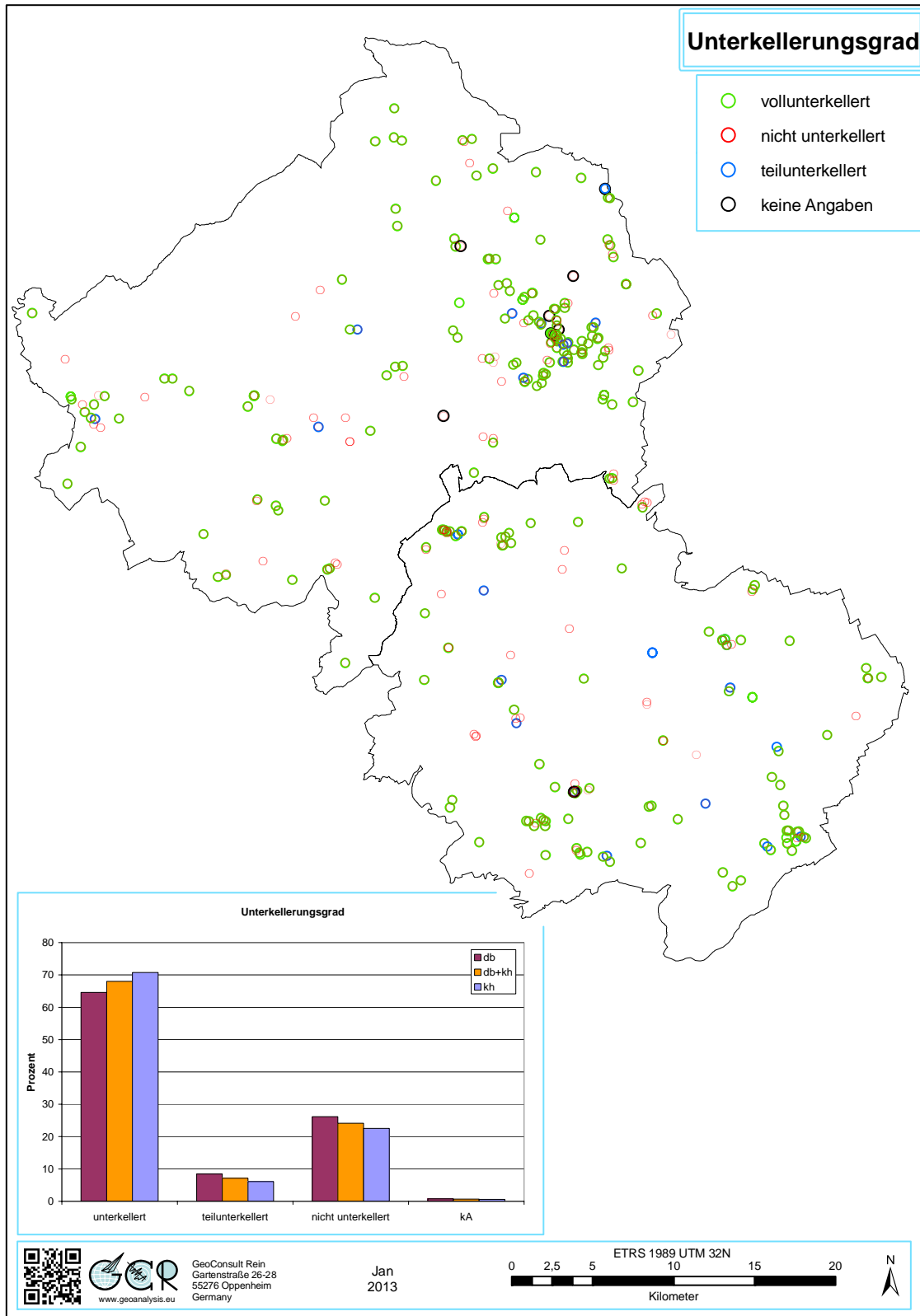


Abbildung 2.2 Teilnehmer nach Unter Kellerung.

2.1.3 Topografische Lage (Abb. 2.3, S. 13)

Gemäß dem Anteil der Siedlungsflächen liegt ein Drittel (33,3%) der Versuchshäuser in Tallage, ein fast ebenso hoher Anteil in Mittelhanglage (31%) und weitere 18,4% am Übergang von Hang zum Tal. In exponierter Lage am Oberhang oder auf der Kuppe liegen nur 15,5% der Studienteilnehmer. Aufgrund der topografischen Begebenheiten ist der Anteil der Tallagen im Lks. KH (40%) fast doppelt so hoch wie im Donnersbergkreis (24%). Umgekehrt ist die Häufigkeit der Mittelhanglagen (DB: 38%, KH: 25,5%). Die anderen Lagen sind zwischen den Landkreisen etwa vergleichbar.

2.1.4 Baujahr (Abb. 2.4, S. 14)

In der Studie sind die in der Region vorkommenden unterschiedlichen Baualter und damit Bauweisen vertreten. Die ältesten Gebäude datieren in das späte 17. Jahrhundert. Sie sind in der Abbildung 2.4 mit den Gebäuden des 18. Jahrhunderts und denen aus dem vorletzten Jahrhundert als Gruppe „vor 1900“ zusammengefasst und im Donnersbergkreis häufiger als im Kreis KH. Aus der Abbildung 2.4 ist auch die räumliche Verteilung der unterschiedlichen Baualter ersichtlich. Zwischen 1900 bis 1960 wurden die Häuser in 20 Jahre weite Klassen zusammengefaßt, seit 1960 zu Dekaden. Dies ist bei der Interpretation des Diagramms in Abbildung 2.4 zu beachten. Der Anteil der nach 1960 erbauten Häuser an der Studie ist höher als der der älteren Häuser. Unter den neueren Häusern wurden in beiden Kreisen die meisten in den 1980er Jahren errichtet. Für die 1990er Jahre ergibt sich eine im Vergleich zu anderen Dekaden ausgeprägte Ungleichverteilung der Häufigkeiten zwischen den Kreisen. Im Lks. KH wurden 17,2% der Versuchshäuser in diesem Jahrzehnt errichtet, im Donnersbergkreis waren es nur 10%.

2.1.5 Kellerboden (Abb. 2.5, S. 15)

Die meisten der studienteilnehmenden und unterkellerten Häuser haben einen aus Beton gegossenen Betonfußboden. Dies trifft auf die Häuser beider Landkreise zu (DB: 74%, KH: 77%). Ebenfalls geringfügig bzw. nicht vorhanden sind die Differenzen bei Verwendung anderer Baumaterialien oder von Naturböden. Allerdings ist der Anteil der Kellerböden, zu denen keine Angaben gemacht wurden mit 11% in beiden Kreisen relativ hoch. Auf einige Nachfragen hat sich ergeben, dass in dieser Rubrik häufig die Häuser mit unterschiedlicher Ausführung der Kellerböden erscheinen.

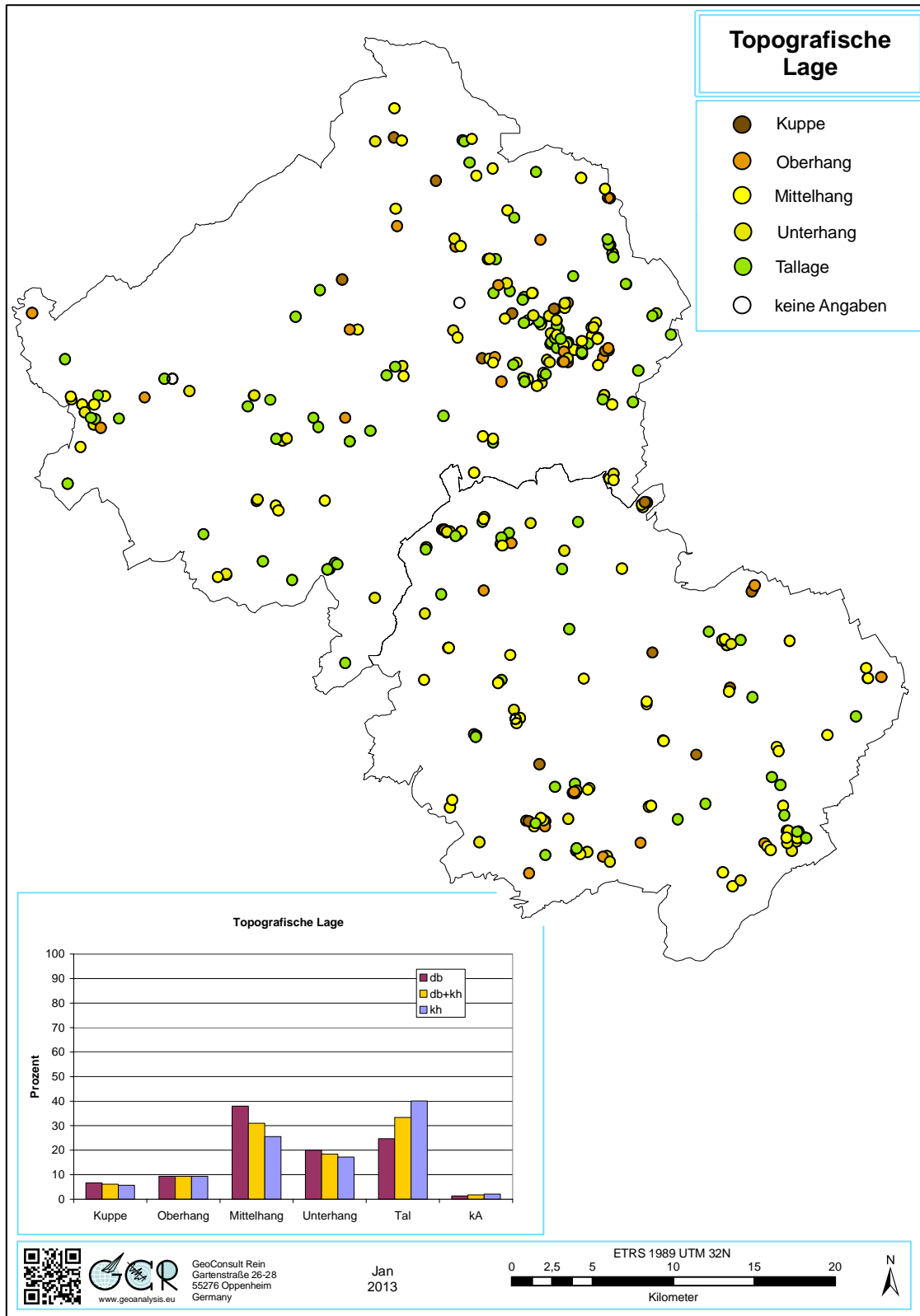


Abbildung 2.3 Teilnehmer nach topografischer Lage.

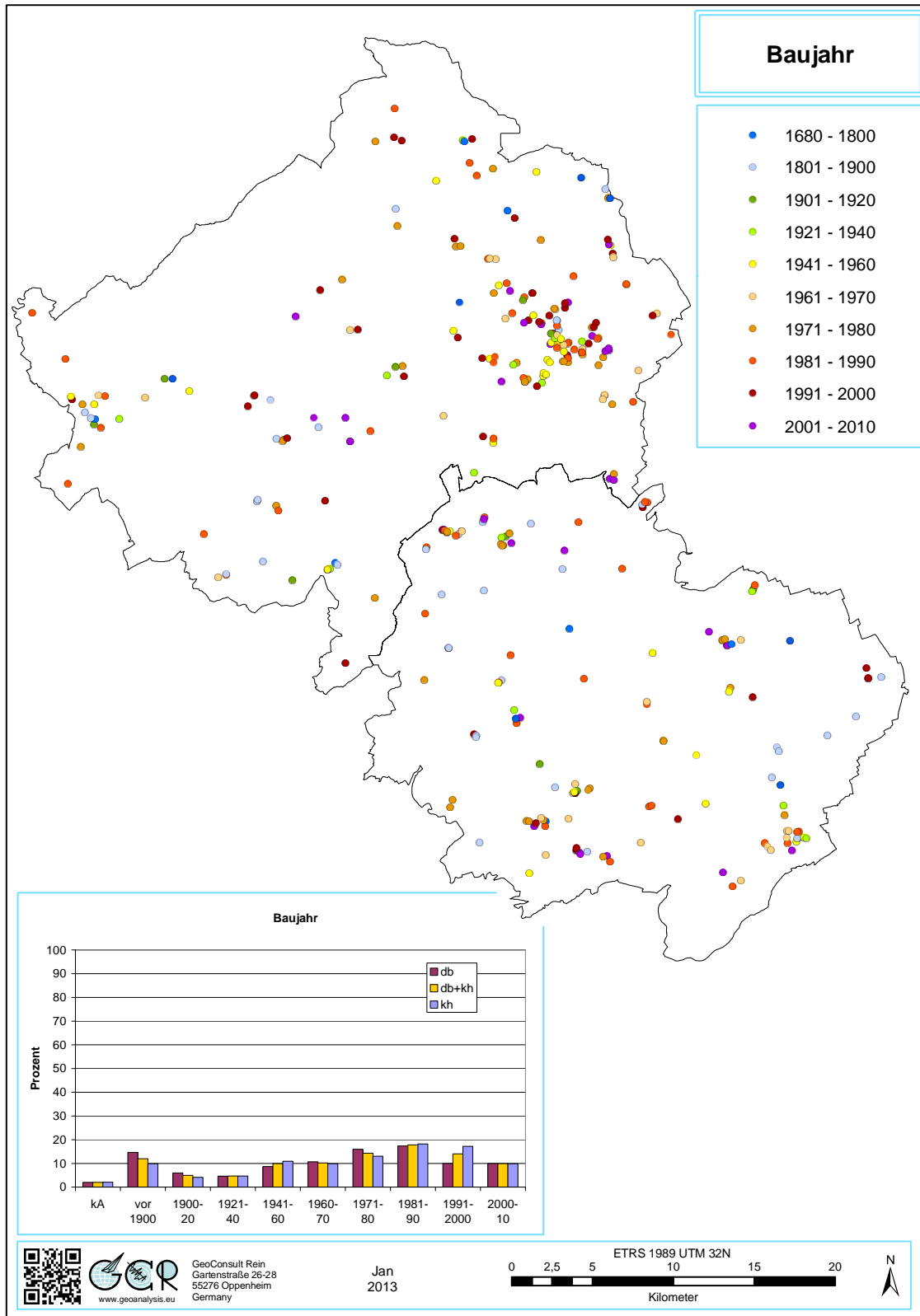


Abbildung 2.4 Teilnehmer nach Baujahr.

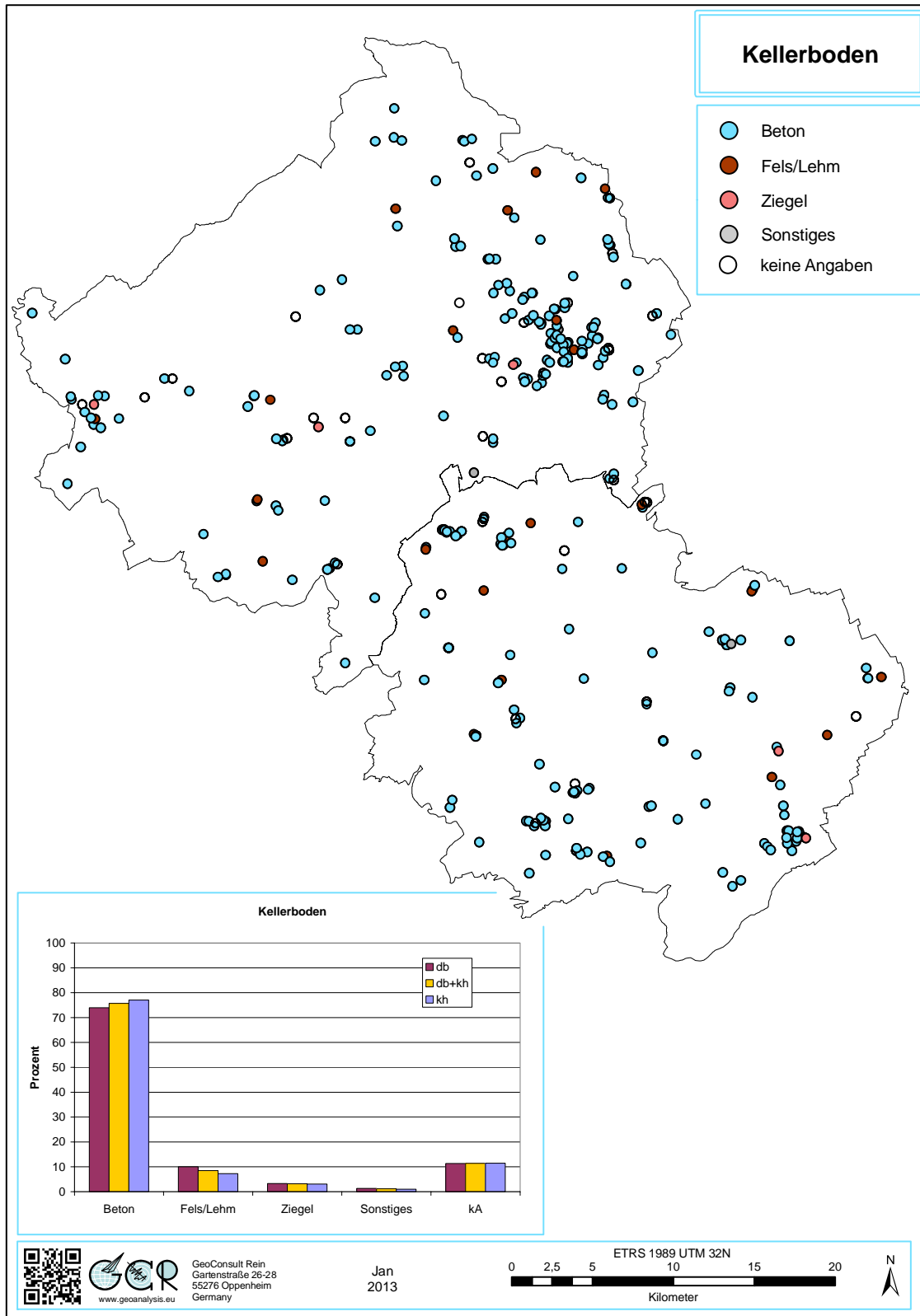


Abbildung 2.5 Teilnehmer nach Kellerboden.

2.1.6 Kellerdecke (Abb. 2.6, S. 17)

Auch die Kellerdecke ist meistens in Beton ausgeführt, entweder gegossen (45%) oder aus Fertigelementen (25%). Kappendecken (gemauertes Gewölbe) besitzen im Donnersbergkreis einen Anteil von 6%, im Lks KH sind sie mit 9,4% etwas häufiger unter den Studienteilnehmern vertreten. Auch hier ist der Anteil „Sonstige“ und „keine Angaben“ mit zusammen etwa 20% hoch.

2.1.7 Kelleranbindung an unterirdische Hohlräume (Abb. 2.7, S. 18)

Nur wenige Keller besitzen eine bekannte Anbindung an natürliche oder künstliche unterirdische Hohlräume. Im Lks. KH sind dies 8,8%, im Donnersbergkreis weniger als 4%.

2.1.8 Feuchtesituation im Keller (Abb. 2.8, S. 19)

Die Feuchtesituation im Keller beschreiben 60% der Teilnehmer aus dem Kreis KH als trocken (DB: 55%). Über 30% der Keller im Donnersbergkreis sind zumindest zeitweise feucht (KH: 23%). Dauerfeucht ist nur ein sehr geringer Anteil der Keller. Im Kreis KH sind das 4,7%, im Donnersbergkreis 3,3%. Hoch ist der Anteil ohne Angaben zur Feuchtesituation mit rund 11% in beiden Kreisen.

2.1.9 Feuchtigkeitsschutz erdberührter Kellerwände (Abb. 2.9, S. 20)

Mit 61% ist der Anteil der Häuser mit Feuchteschutz der erdberührten Kellerwände im Kreis KH geringfügig höher als im Donnersbergkreis (55%). Zwischen 8% und 9% beträgt der Anteil der Versuchsteilnehmer, denen nicht bekannt ist, ob in dem von ihnen bewohnten Gebäude ein Feuchteschutz der Kellerwände existiert. Aus ähnlichen Gründen ist deshalb auch der Anteil derjenigen, die keine Angaben zum Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Feuchteschutzes der Kellerwände machen mit 12-13% relativ hoch.

2.1.10 Wärmedämmung der Kellerwände (Abb. 2.10, S. 21)

Der Anteil der Gebäude mit wärmeisolierten Kellerwänden beträgt in beiden Kreisen weniger als ein Viertel (22-23%). Explizit nicht vorhanden ist eine Wärmeisolierung der Kellerwände in 61% der Häuser im Donnersbergkreis und 56% im Kreis Bad Kreuznach. Nicht bekannt ist dieses Baucharakteristikum 5% der Teilnehmer aus dem

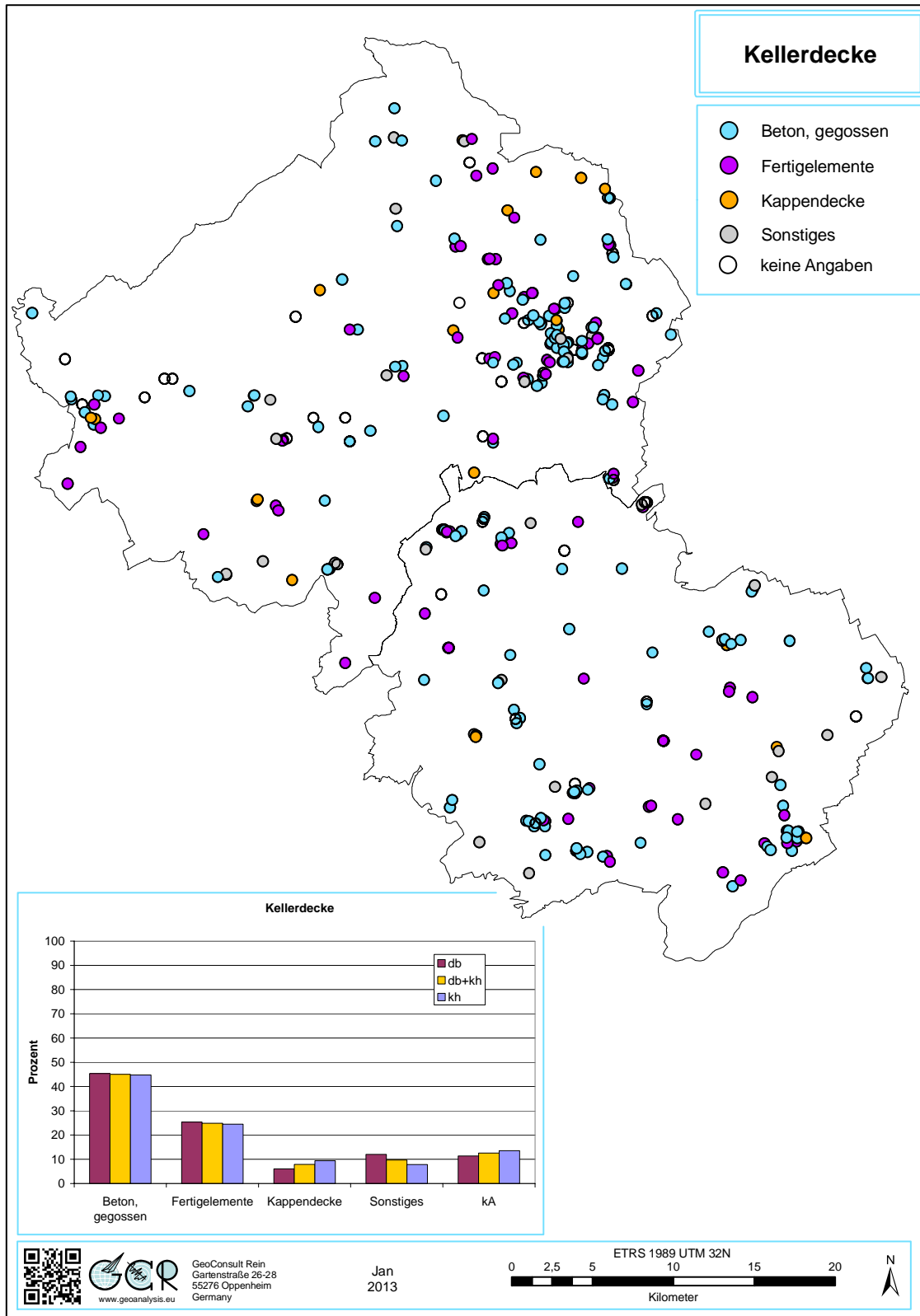


Abbildung 2.6 Teilnehmer nach Kellerdecke.

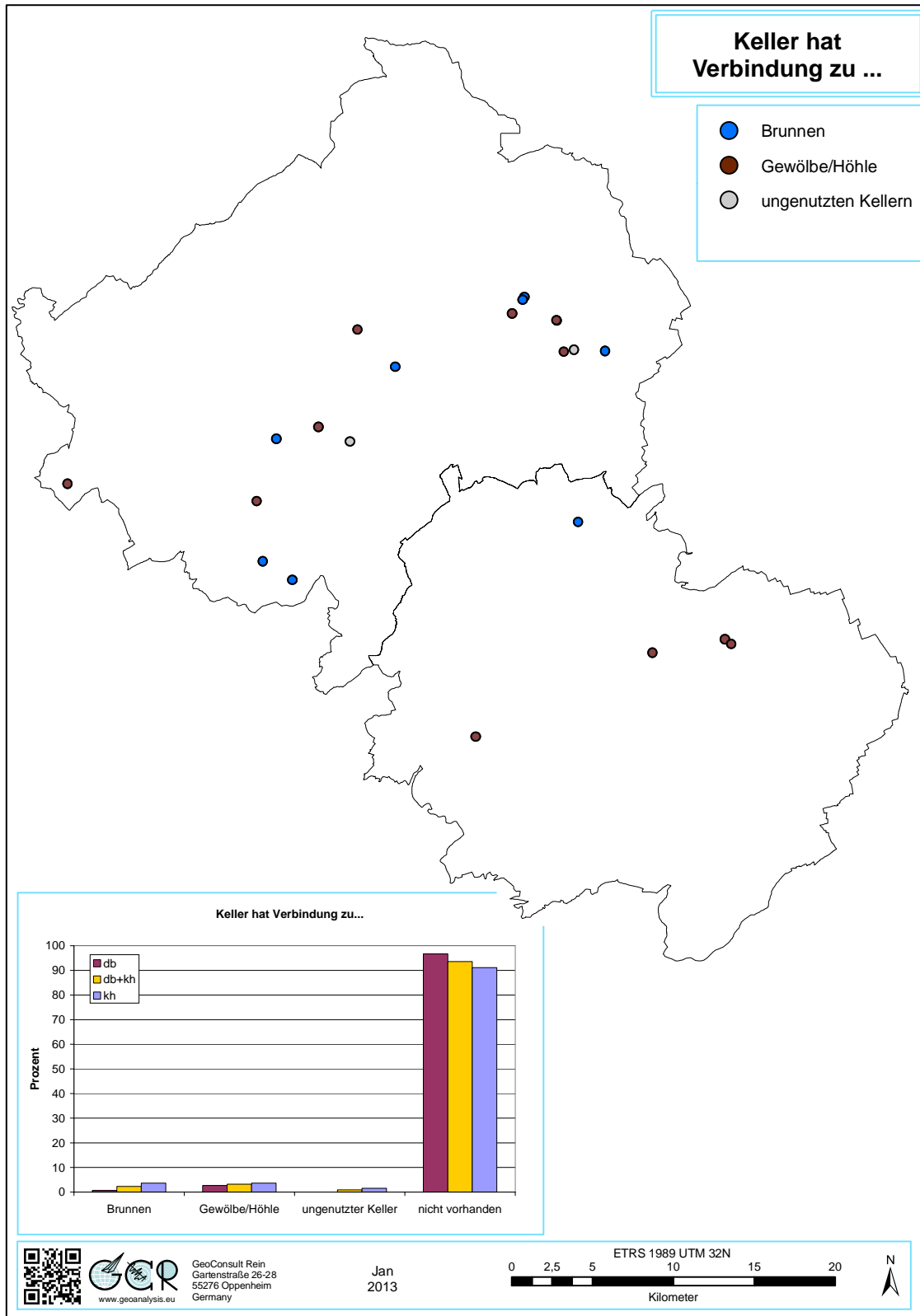


Abbildung 2.7 Anbindung an unterirdische Hohlräume.

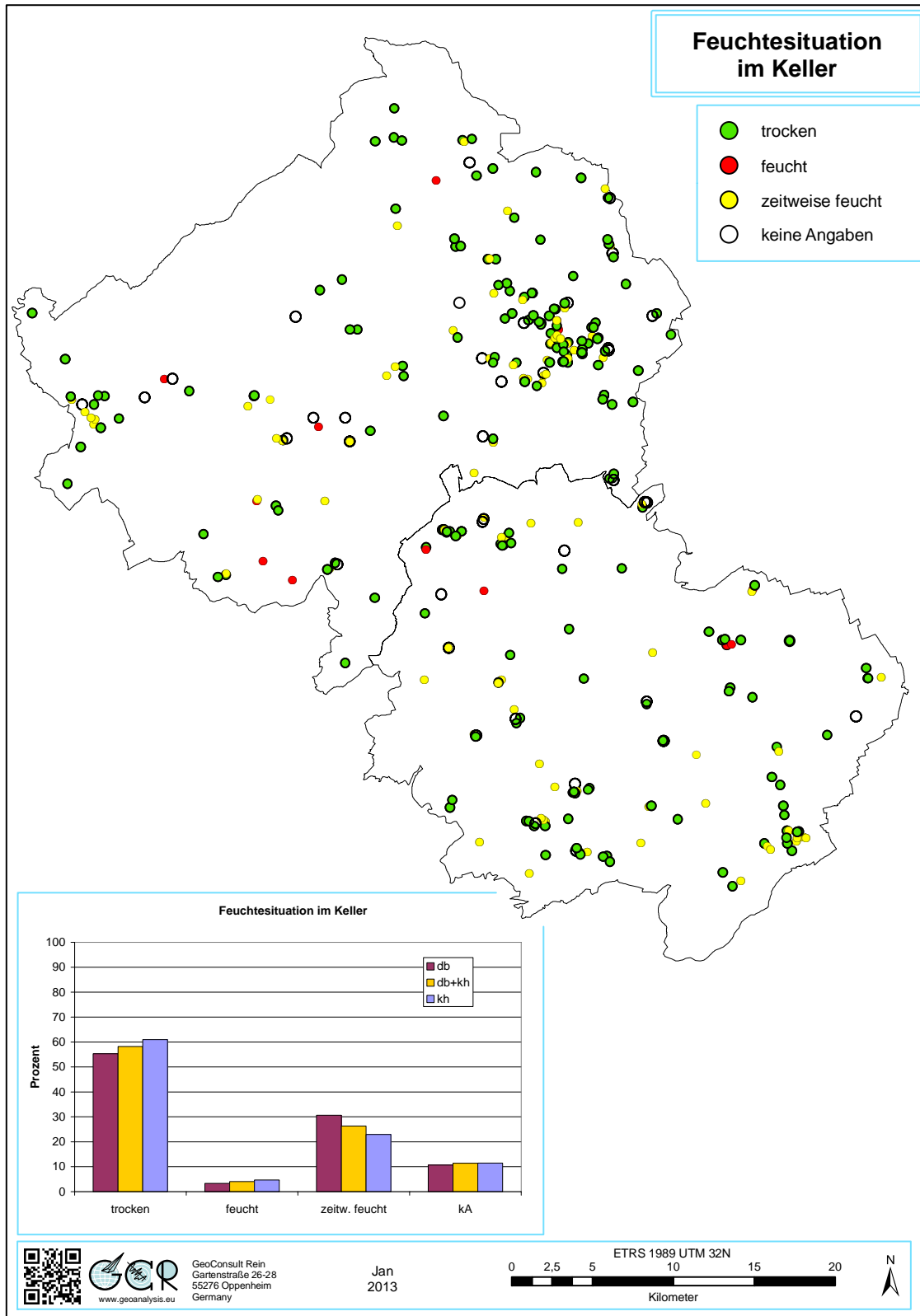


Abbildung 2.8 Teilnehmer nach Feuchtesituation im Keller.

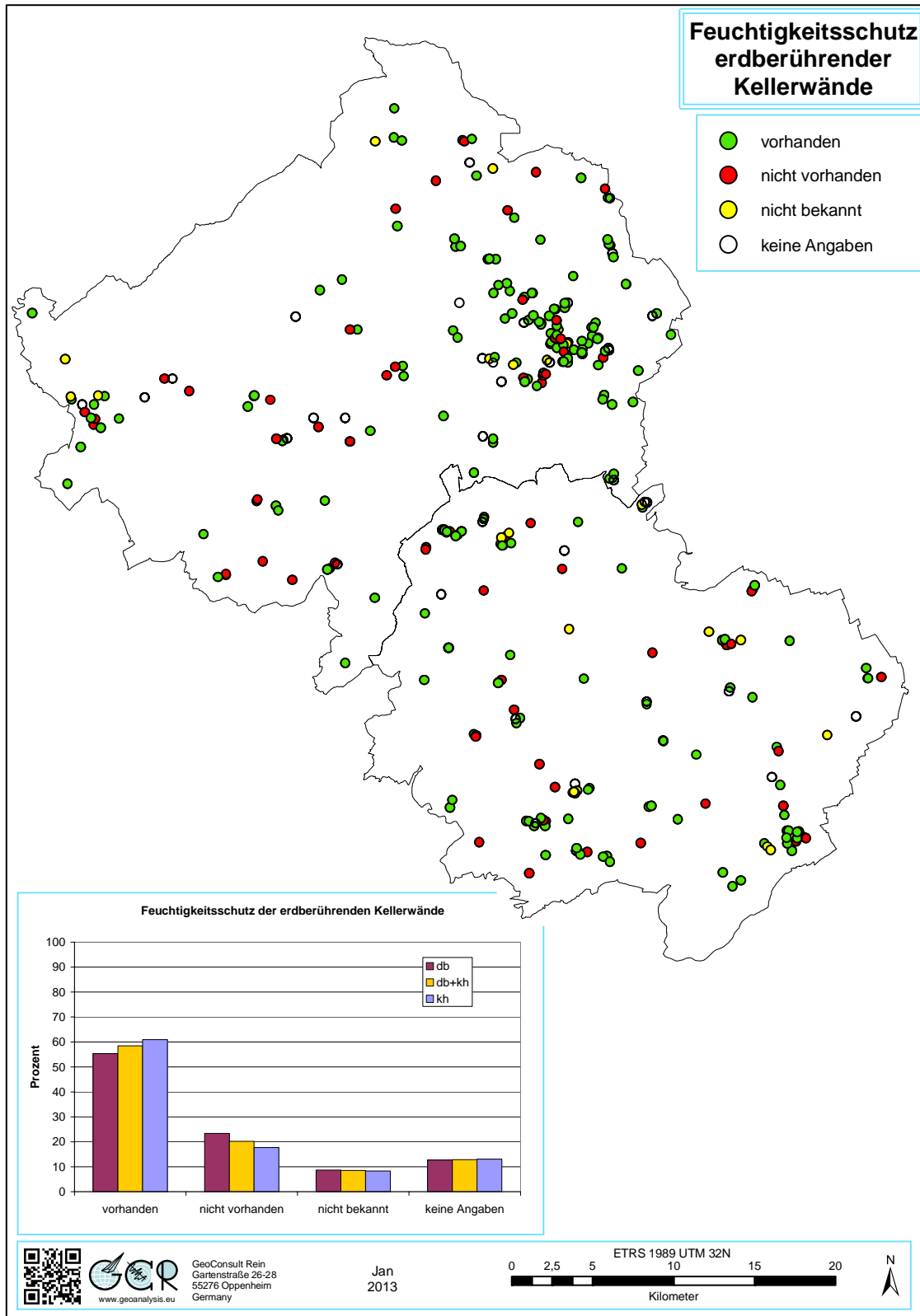


Abbildung 2.9 Teilnehmer nach Feuchteschutz erdberührter Kellerwände.

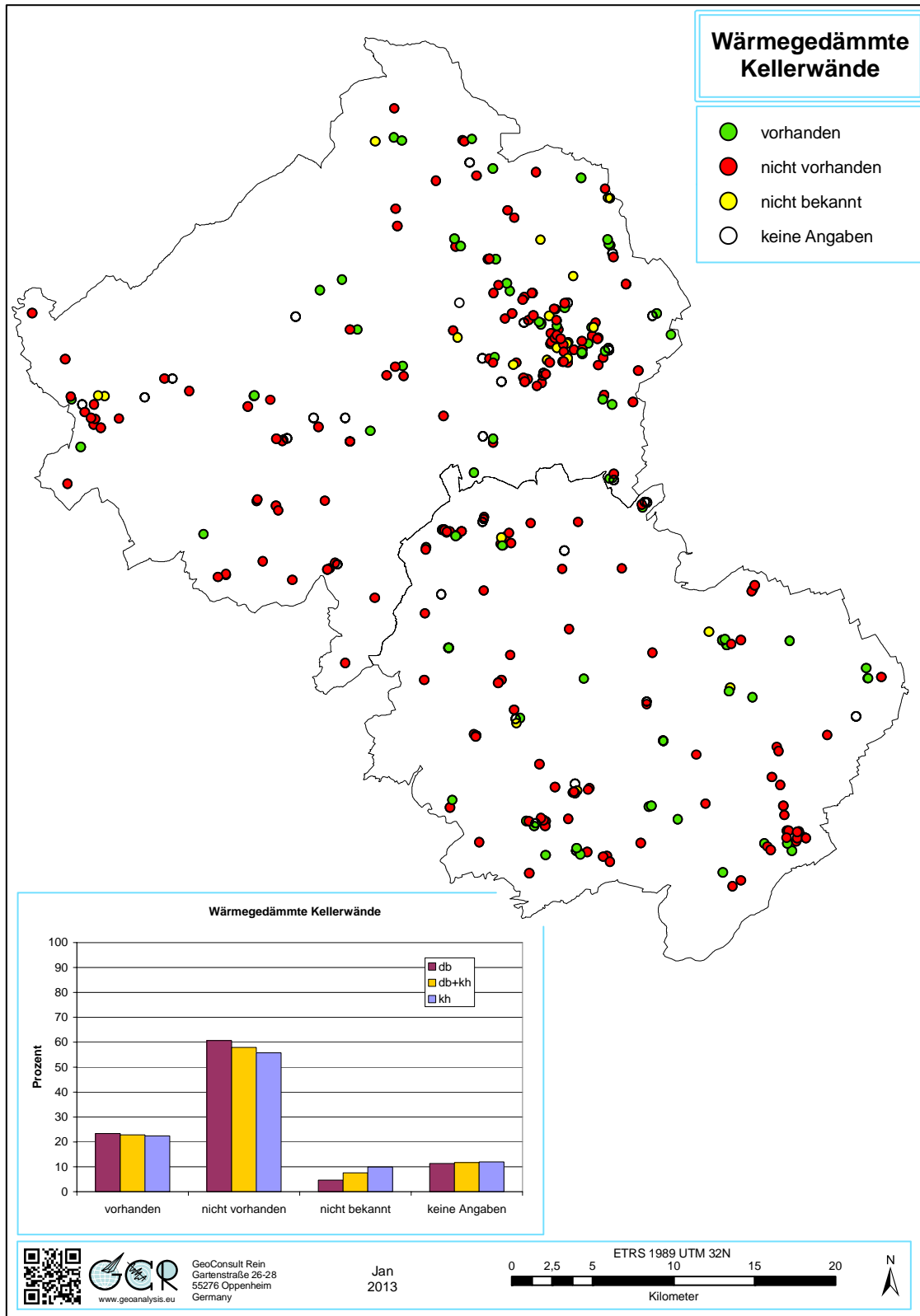


Abbildung 2.10 Teilnehmer nach Wärmedämmung der Kellerwände.

Donnersbergkreis und 10% aus dem Kreis Bad Kreuznach. In beiden Kreisen machen etwa gleich viele (11%) keine Angaben.

2.1.11 Wärmedämmung der oberirdischen Hauswände (Abb. 2.11, S. 23)

Der Anteil der explizit nicht wärmegeämmten oberirdischen Hauswände ist in beiden Kreisen (DB: 52,7%, KH: 47,9%) höher als der wärmegeämmte Anteil (DB: 42,7%, KH: 44,3%). Zwei Prozent können keine Angaben machen und auch 2,7% der Teilnehmer im Donnersbergkreis und 5,7% im Kreis KH ist das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein einer Wärmeisolierung der Hauswände nicht bekannt.

2.1.12 Verglasung (Abb. 2.12, S. 24)

Vergleichsweise flächendeckend ist dagegen die Verwendung von Isolierverglasung bei den Studienteilnehmern in beiden Kreisen (DB: 96%, KH: 94,8%). Nur 2,6% der teilnehmenden Häuser in beiden Kreisen besitzt explizit keine Isolierverglasung.

2.1.13 Durchführung von Leitungen durch die Bodenplatte (Abb. 2.13, S. 25)

Die gemeinhin in Empfehlungen zum radonsicheren Bauen als potentielle Zutrittspfade für Radon geltenden Durchführungen von Rohren und Leitungen durch die Bodenplatte ist in 75% der teilnehmenden Häuser sicher vorhanden. In 7,5% der Häuser ist nicht bekannt, ob solche Durchführungen existieren oder es werden dazu keine Angaben gemacht. Nur in den restlichen 17-18% der Häuser ist die Bodenplatte durch Durchführungen sicher nicht durchbrochen.

2.1.14 Gründung mit wasserdichtem Beton oder Weißer Wanne (Abb. 2.14, S. 26)

Wasserdichter Beton gilt als radonhemmend, eine Weiße Wanne als radondicht. Etwa ein Fünftel der Häuser zu dieser Studie verfügen über eine Gründung der in die Erde einbindenden Gebäudeteile aus wasserdichtem Beton oder sind als weiße Wanne ausgeführt. Nicht bekannt ist die Gründungsausführung für 22% der Häuser im Donnersbergkreis und 27% der Häuser im Kreis KH. Ein Großteil der zu dieser Fraktion gehörenden Häuser dürfte der Gruppe der Häuser hinzuzuschlagen sein für die bekannt ist, dass diese Art der Gründung nicht angewandt wurde (DB: 55%, KH 49%).

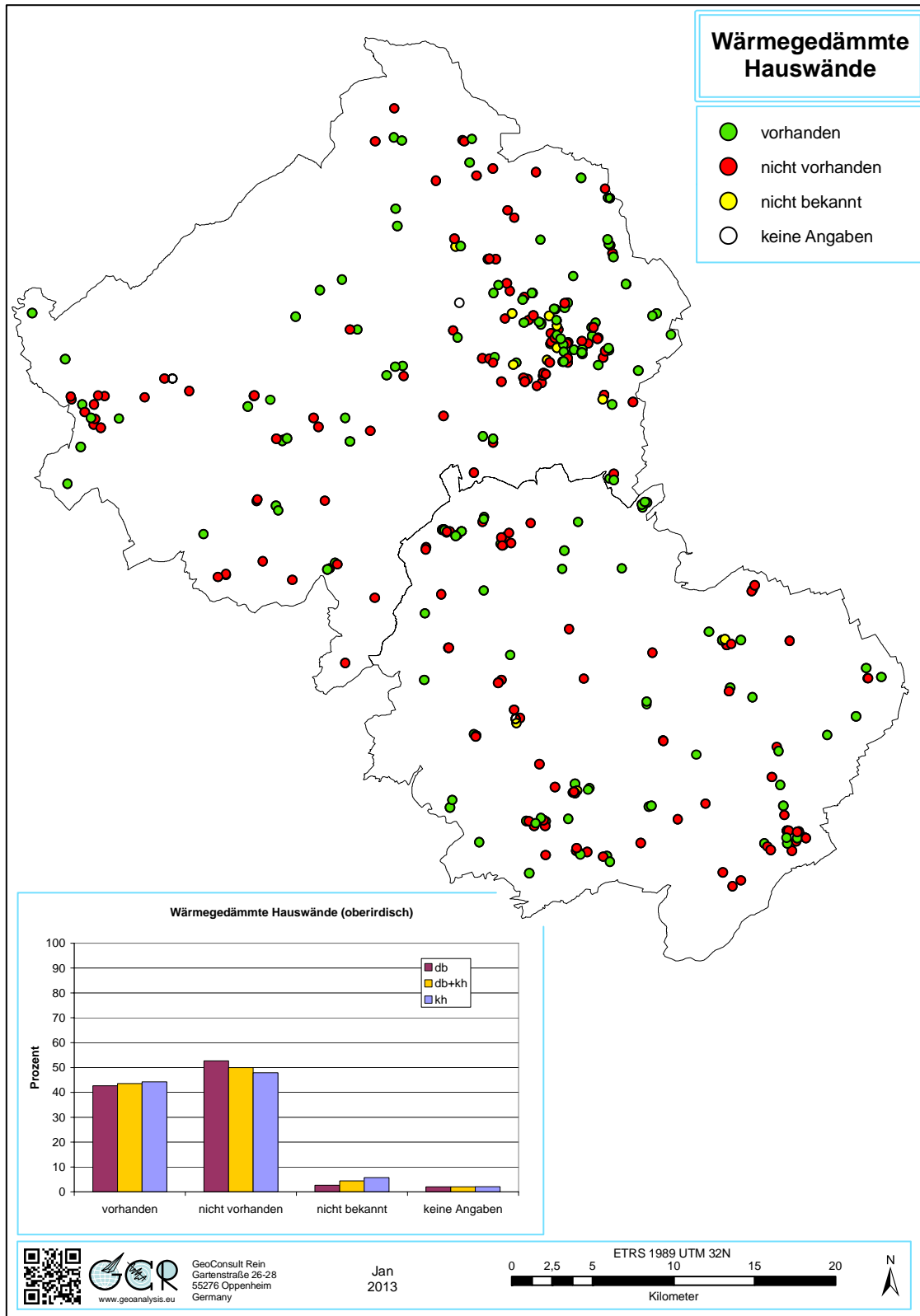


Abbildung 2.11 Teilnehmer nach Wärmedämmung der oberirdischen Hauswände.

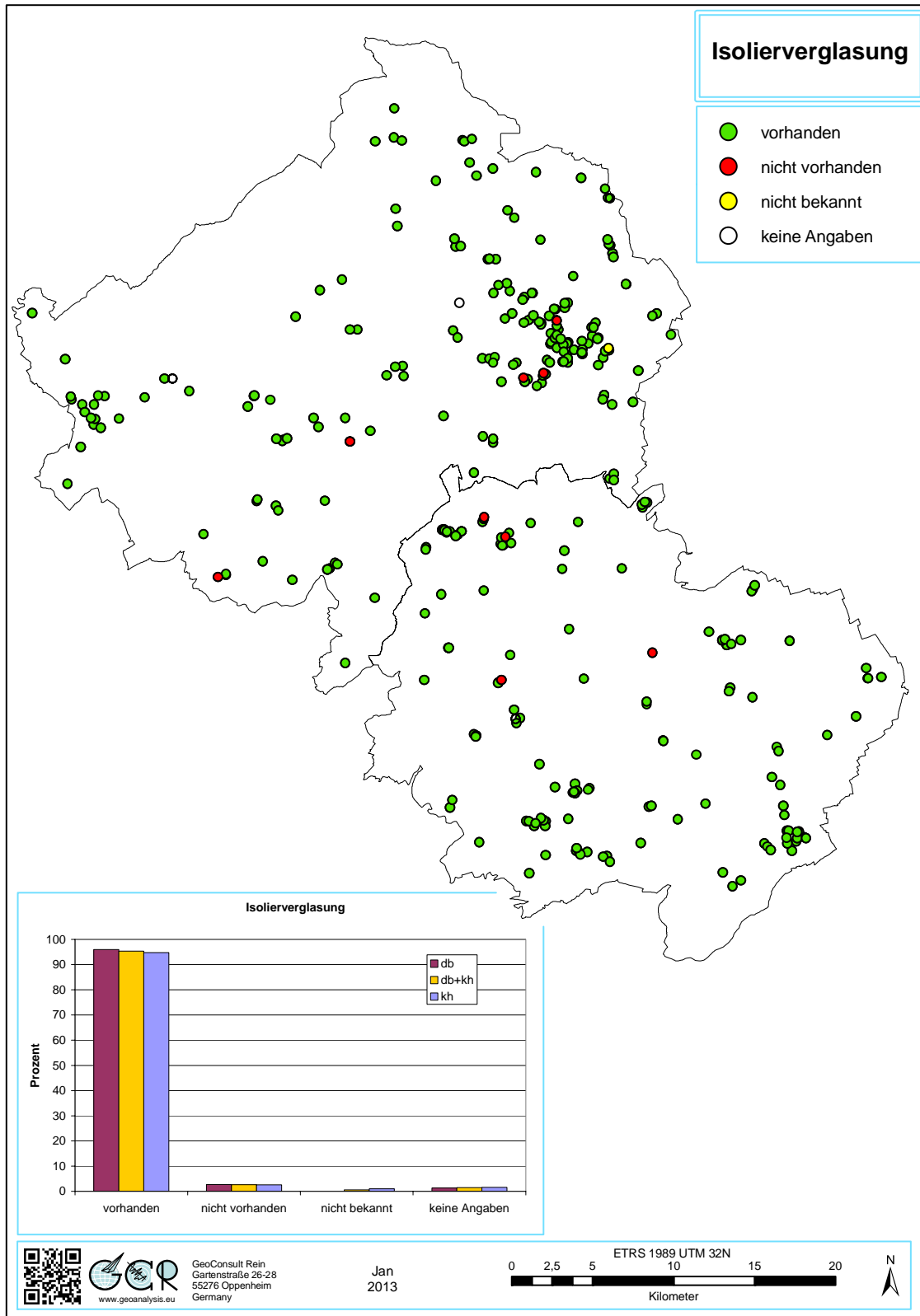


Abbildung 2.12 Teilnehmer nach Verglasung.

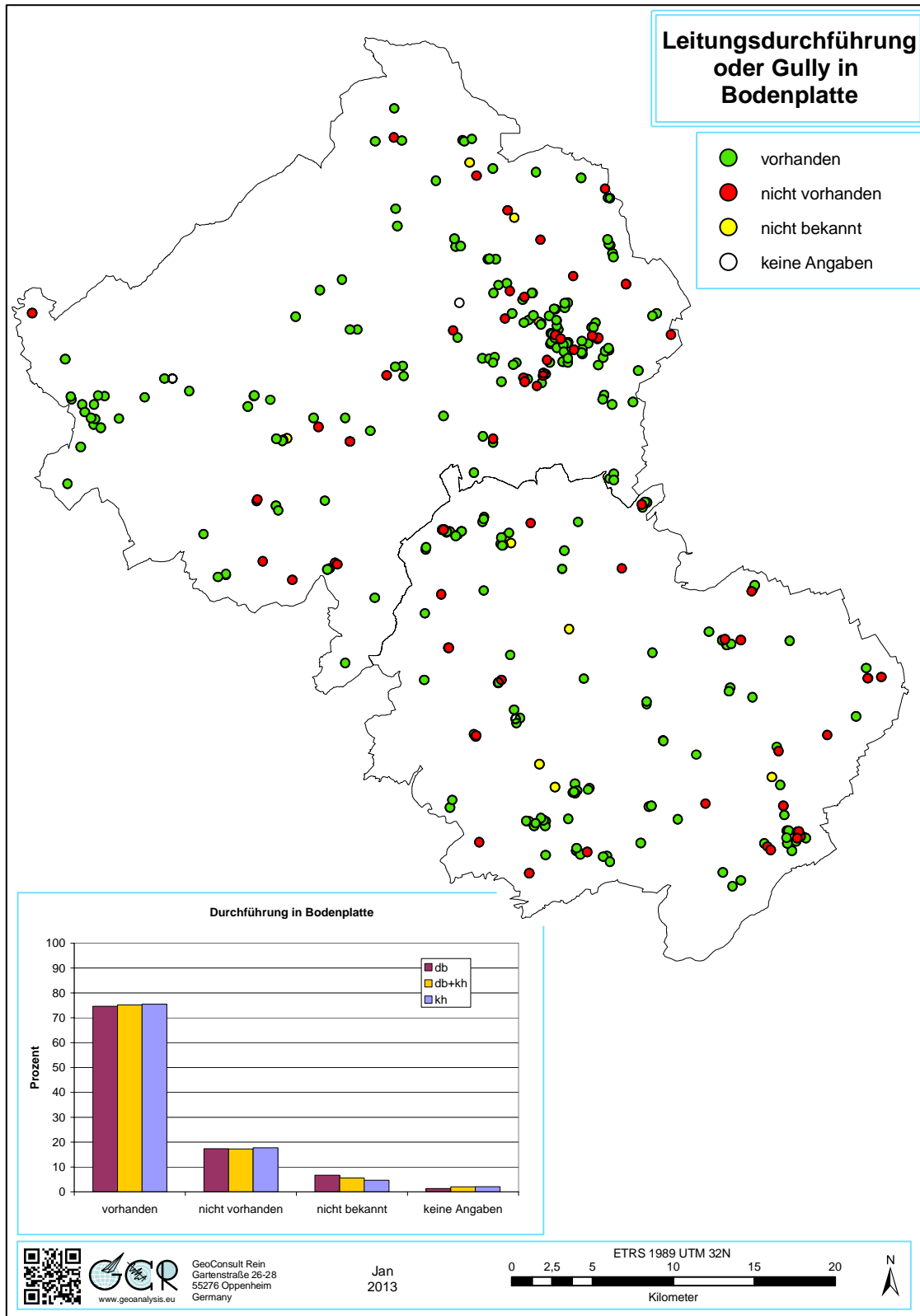


Abbildung 2.13 Teilnehmer nach Bodenplattendurchführung.

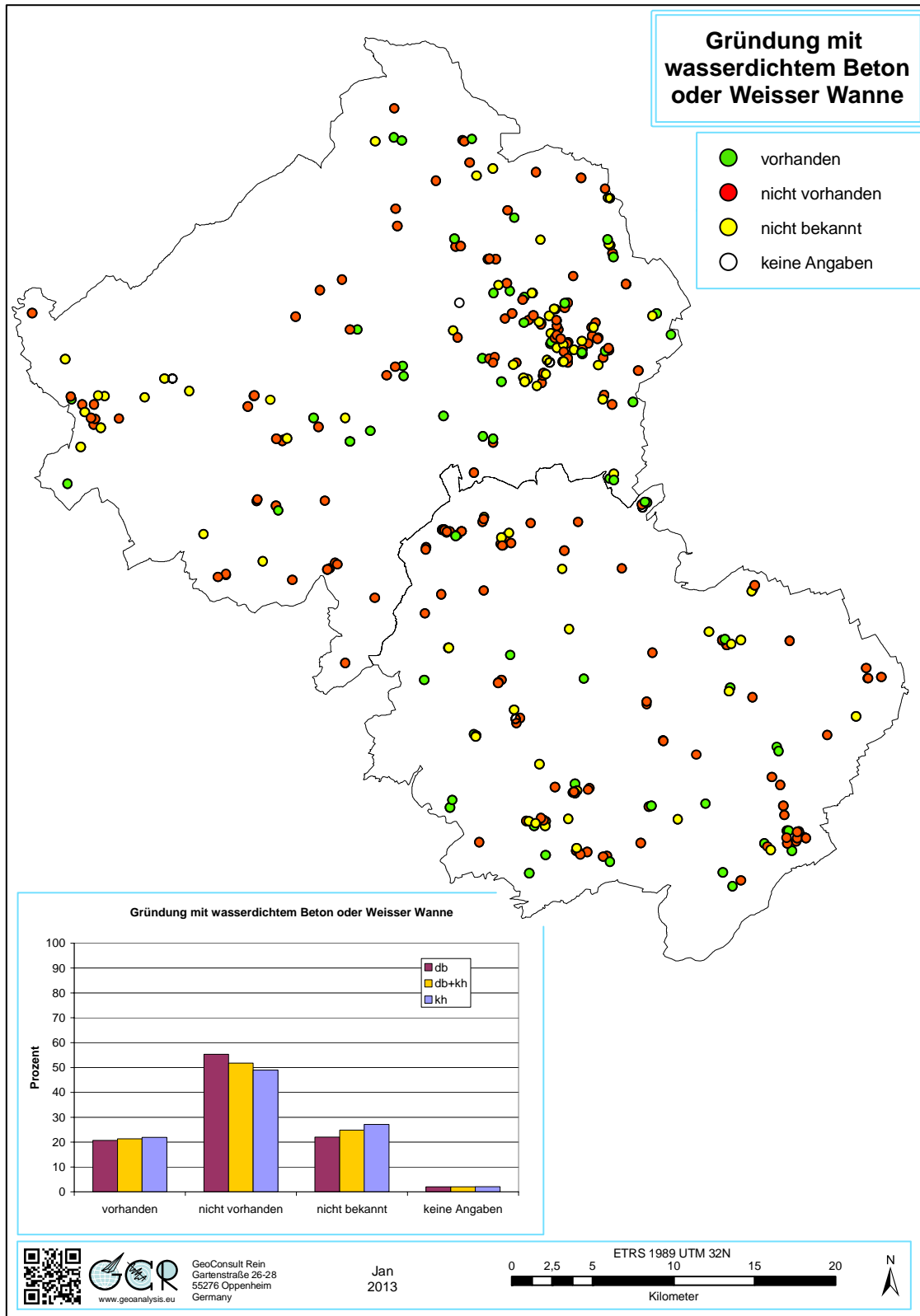


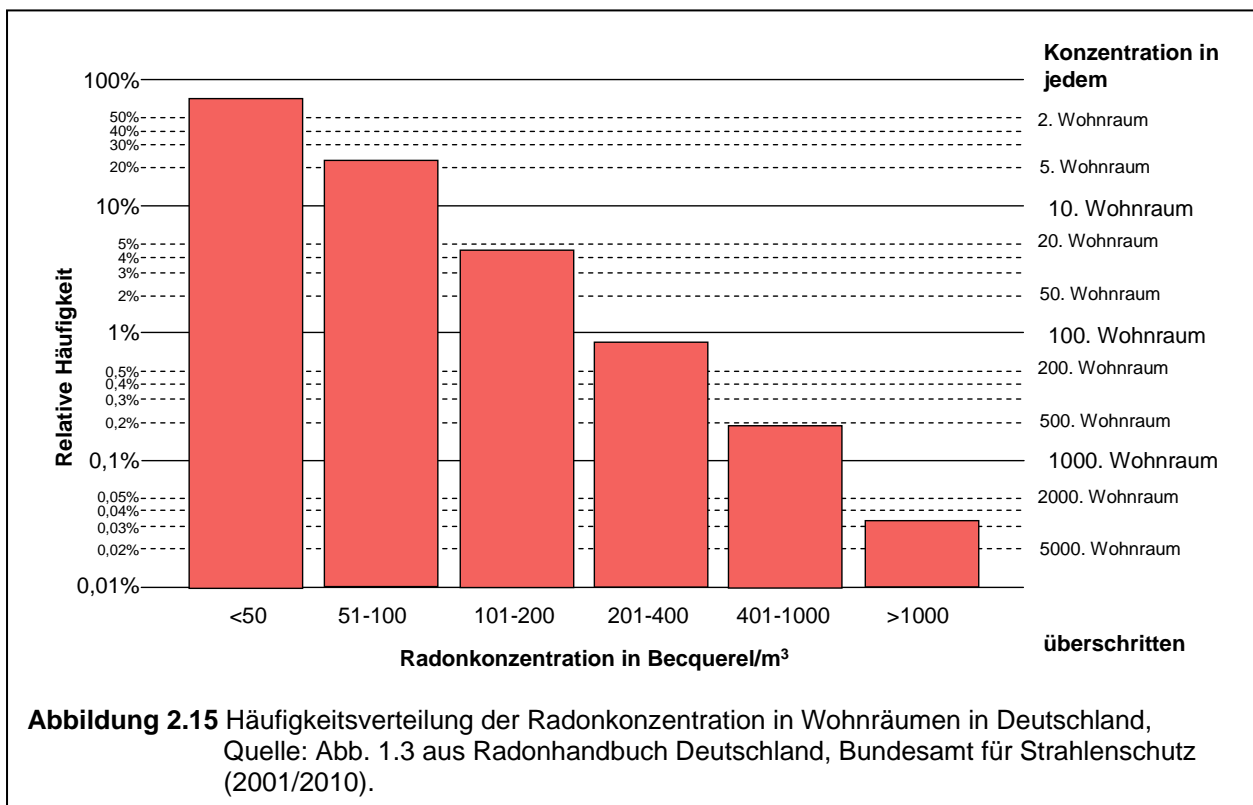
Abbildung 2.14 Teilnehmer nach Gründung.

2.2 Darstellung der Radonmesswerte nach Etage und Raumnutzung

In diesem Kapitel werden die Radonaktivitätskonzentrationen nach Etagen und Nutzung differenziert dargestellt.

Die in den Abbildungen vorgenommenen Klasseneinteilungen der Radonaktivitätskonzentrationen entsprechen denen im Radonhandbuch Deutschland (2001/2010) und erklären sich wie nachfolgend erläutert.

Der obere Grenzwert der ersten Klasse von 50 Becquerel/Kubikmeter (Bq/m³) entspricht gemäß Radonhandbuch Deutschland des Bundesamtes für Strahlenschutz (2001) der mittleren Radonkonzentration in Wohnungen in Deutschland. Etwa 70% der Wohnräume im Bundesgebiet entfallen auf die Klasse mit Radonaktivitätskonzentrationen bis 50 Bq/m³ (Abb. 2.15).



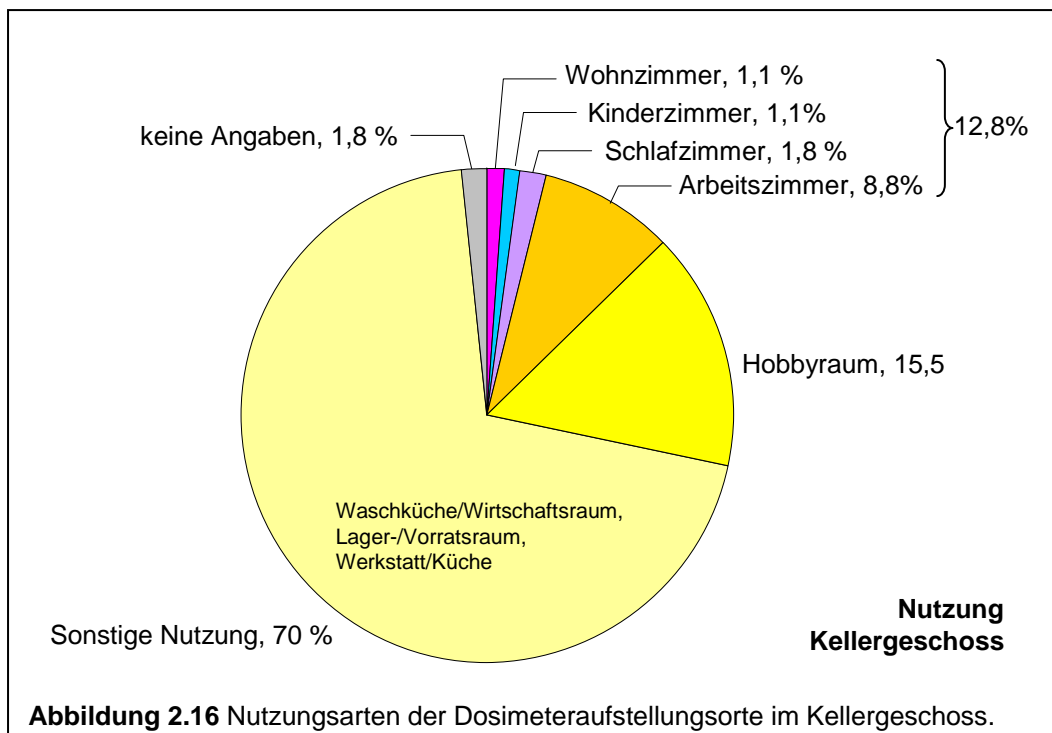
Der obere Grenzwert der Klasse >50-100 Bq/m³ entspricht dem Referenzwert von 100 Bq/m³, der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in ihrem Radonhandbuch (2009) als maximal akzeptable Radonkonzentration in einem Wohnraum vorgeschlagen wird. Auch das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt neue Gebäude so zu errichten, dass die Radonkonzentration unter 100 Bq/m³ liegt.

Radonaktivitätskonzentrationen in bestehenden Gebäuden sollten nach Möglichkeit unter diesen Wert abgesenkt werden. Etwas mehr als 20 Prozent entfallen bundesweit auf diese Klasse (Abb. 2.15), sodass mehr als 90% aller Wohnräume niedrigere Aktivitätskonzentrationen als die durch das Bundesamt für Strahlenschutz und Weltgesundheitsorganisation angestrebten 100 Bq/m^3 besitzen.

Je nach nationalen Begebenheiten und Behörde werden Richtwerte von $200 - 400 \text{ Bq/m}^3$ empfohlen, ab der eine Radonsanierung angeraten wird, um die Radonkonzentration zu senken. Im bundesweiten Durchschnitt hat weniger als jeder 100. Wohnraum eine Radonkonzentration von $>200 \text{ Bq/m}^3$, weniger als jeder 500. Wohnraum erreicht Radonkonzentrationen über 400 Bq/m^3 .

Bei Radonaktivitätskonzentrationen $>1000 \text{ Bq/m}^3$ muß innerhalb drei Jahren eine Sanierung erfolgen. Der Anteil von Wohnungen über diesem Einschreitwert beträgt bundesweit nur wenig mehr als 0,03% oder anders dargestellt, nur etwa jeder 3000. Wohnraum ist im Bundesschnitt davon betroffen (Abb. 2.15).

Es gibt regional, in Abhängigkeit von der Geologie (Gesteine, Tektonik) starke Unterschiede in der Häufigkeit der Überschreitung oben genannter Richtwerte.



2.2.1 Kellergeschoss

Fast 13 Prozent der untersuchten Räume im Kellergeschoss werden ständig als Arbeitszimmer (z.T. gewerblich), Wohnzimmer, Kinderzimmer oder Schlafzimmer genutzt. Weitere 15,5% der Räume sind Hobbyräume mit wahrscheinlich geringeren Aufenthaltszeiten. Die restlichen untersuchten Räume werden als Wirtschaftsräume (Waschküche, Küche, Werkstatt), Vorratsräume oder Besprechungsräume genutzt (Abb. 2.16). Zu fünf Räumen liegen keine Angaben zur Nutzung vor.

In Abbildung 2.17 ist sowohl die räumliche wie auch die statistische Verteilung der im Kellergeschoss gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen dargestellt. Die in dieser und den nachfolgenden Abbildungen vorgenommene Klasseneinteilung entspricht der oben erläuterten.

Fast 54% der untersuchten Kellergeschossräume hatten mittlere Radonkonzentrationen unter 100 Bq/m^3 . Weitere 24% hatten Radonkonzentrationen zwischen 100 und 200 Bq/m^3 , 15,5% zwischen 200 und 400 Bq/m^3 , 5,3% hatten sogar Werte zwischen 400 und 1000 Bq/m^3 , 1,4% der Kellergeschossräume hatten Radonkonzentrationen über 1000 Bq/m^3 , z.T. mehrere tausend bis über 13000 Bq/m^3 . In den unteren Klassen bis 200 Bq/m^3 erzielt der Donnersbergkreis leicht höhere Anteile, während Räume in den höheren Konzentrationenklassen im Kreis Bad Kreuznach häufiger sind. Werte über 1000 Bq/m^3 im Kellergeschoß wurden im Donnersbergkreis während dieser Studie keine gemessen, im Kreis KH aber immerhin in 4 Fällen (2,4%).

Von den drei im Kellergeschoss liegenden Wohnzimmern hatten zwei niedrige Werte unter 100 Bq/m^3 , eines im südlichen Kreis KH lag aber deutlich in der Klasse >400 - 1000 Bq/m^3 (Abb. 2.18, S. 31).

Von den drei Untergeschoss-Kinderzimmern hatte nur eines Radonkonzentrationen über 100 Bq/m^3 (Abb. 2.19, S. 32).

Das Dosimeter eines der Untergeschoss-Schlafzimmer erbrachte Werte zwischen >200 - 400 Bq/m^3 (Abb. 2.20, S. 33).

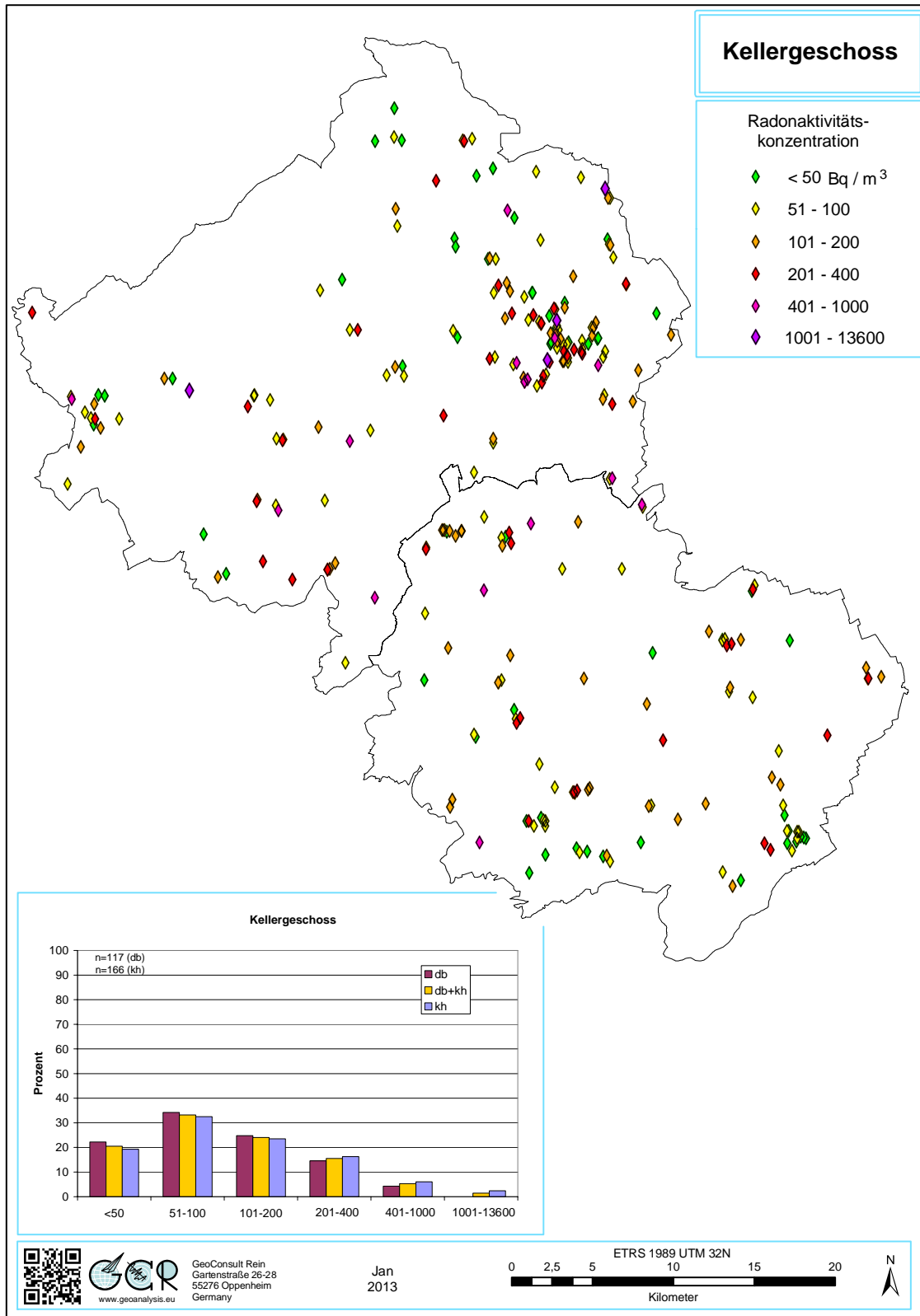


Abbildung 2.17 Radonaktivitätskonzentrationen im Kellergeschoss.

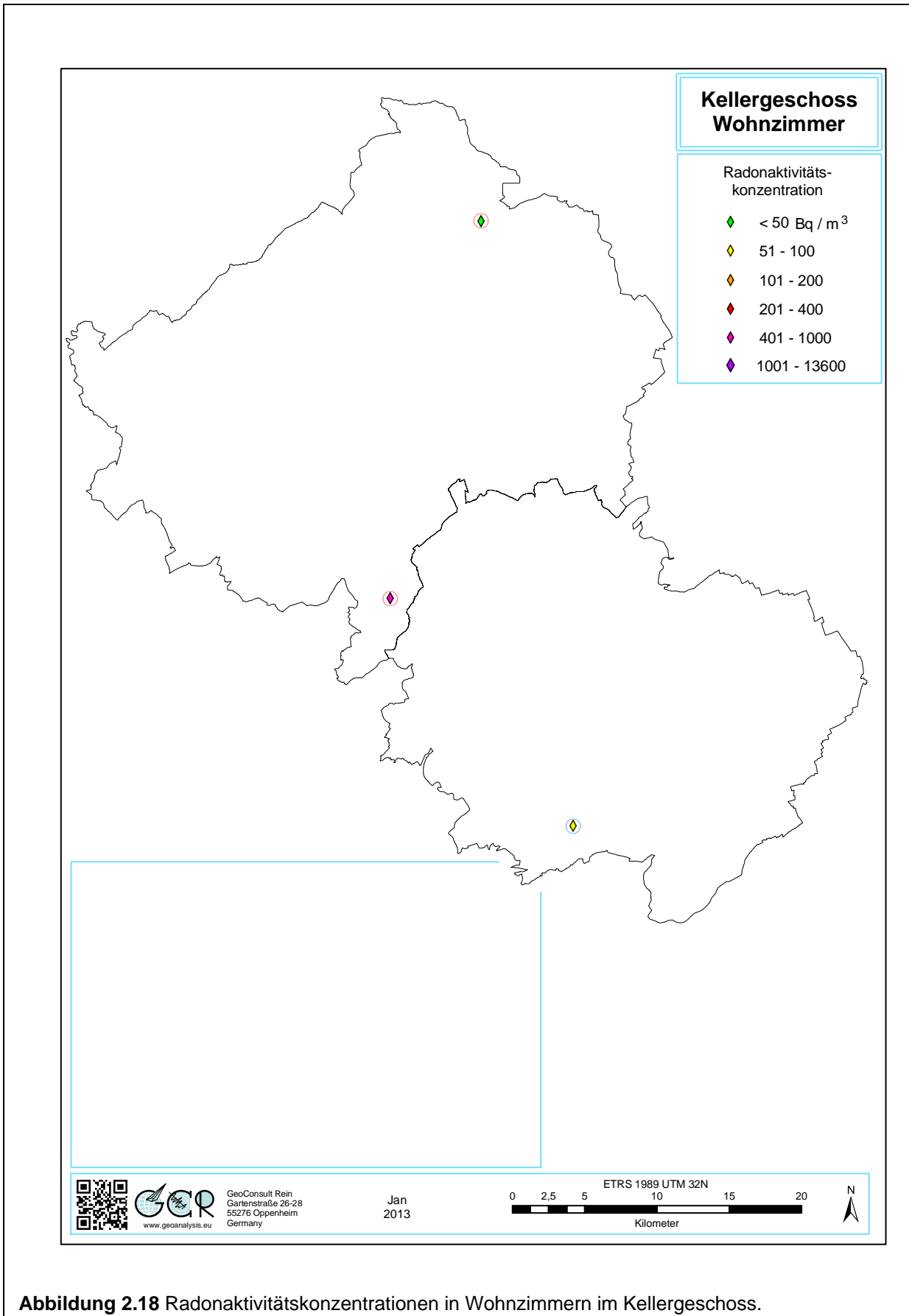


Abbildung 2.18 Radonaktivitätskonzentrationen in Wohnzimmern im Kellergeschoss.

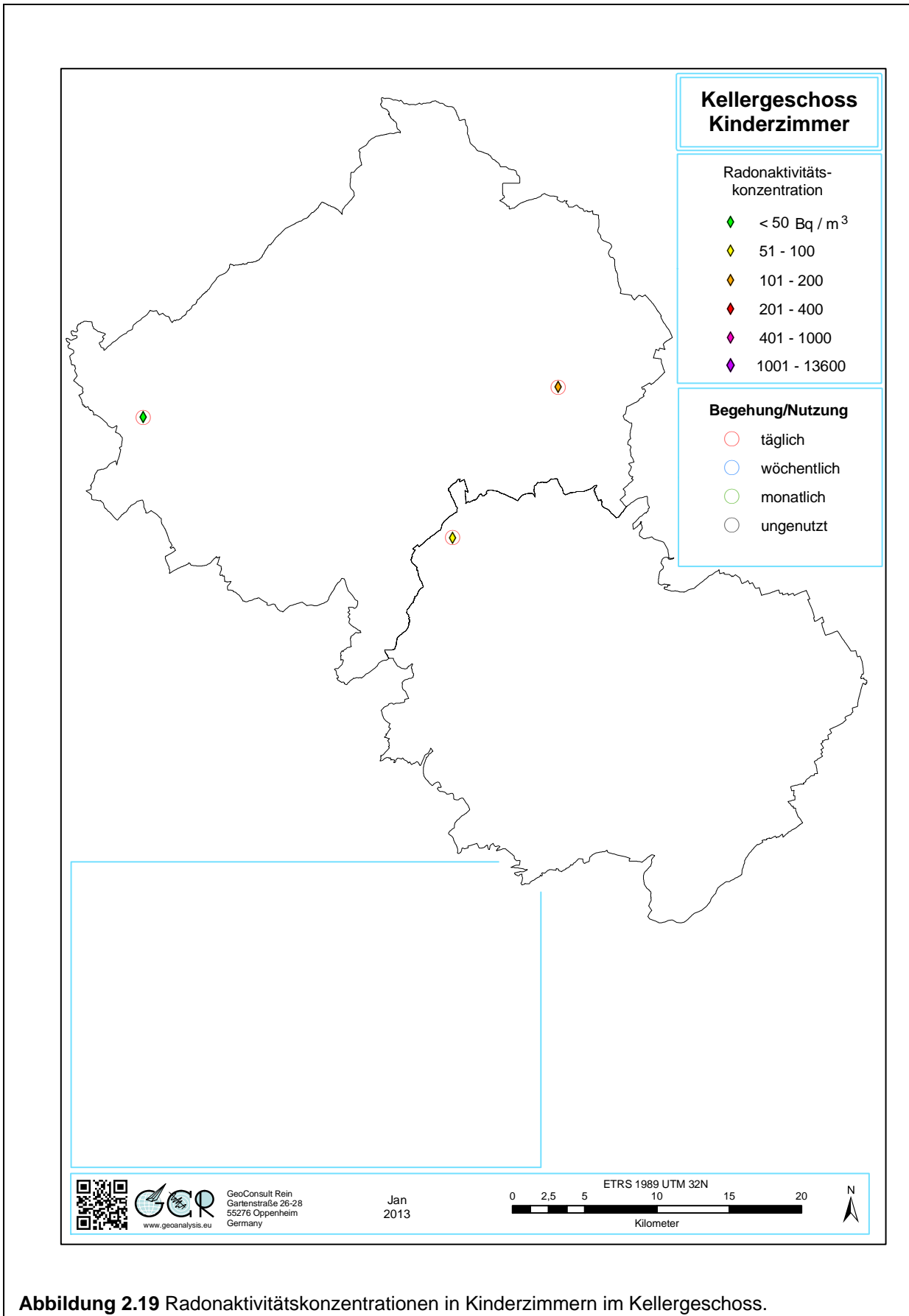


Abbildung 2.19 Radonaktivitätskonzentrationen in Kinderzimmern im Kellergeschoss.

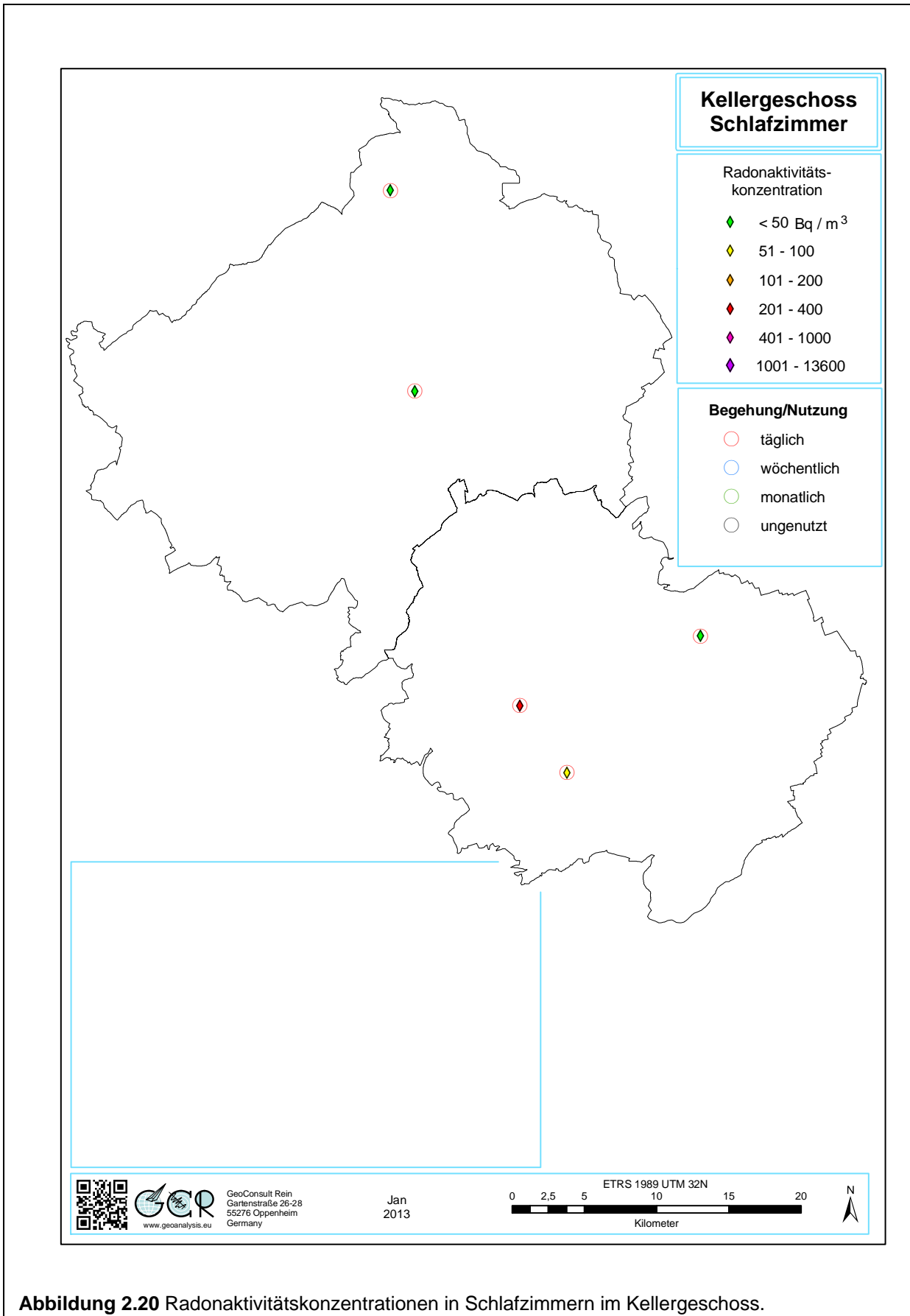


Abbildung 2.20 Radonaktivitätskonzentrationen in Schlafzimmern im Kellergeschoss.

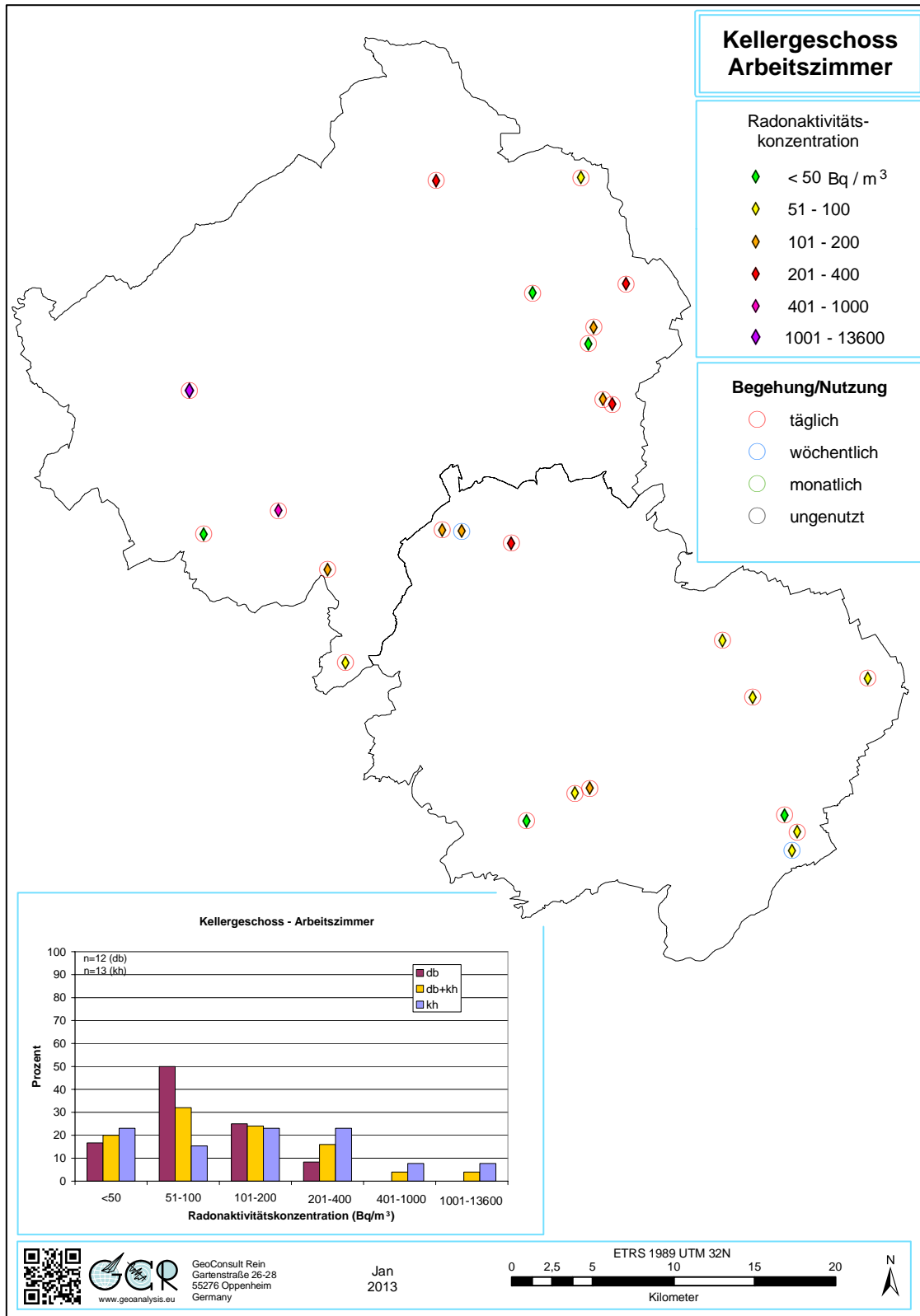


Abbildung 2.21 Radonaktivitätskonzentrationen in Arbeitszimmern im Kellergeschoss.

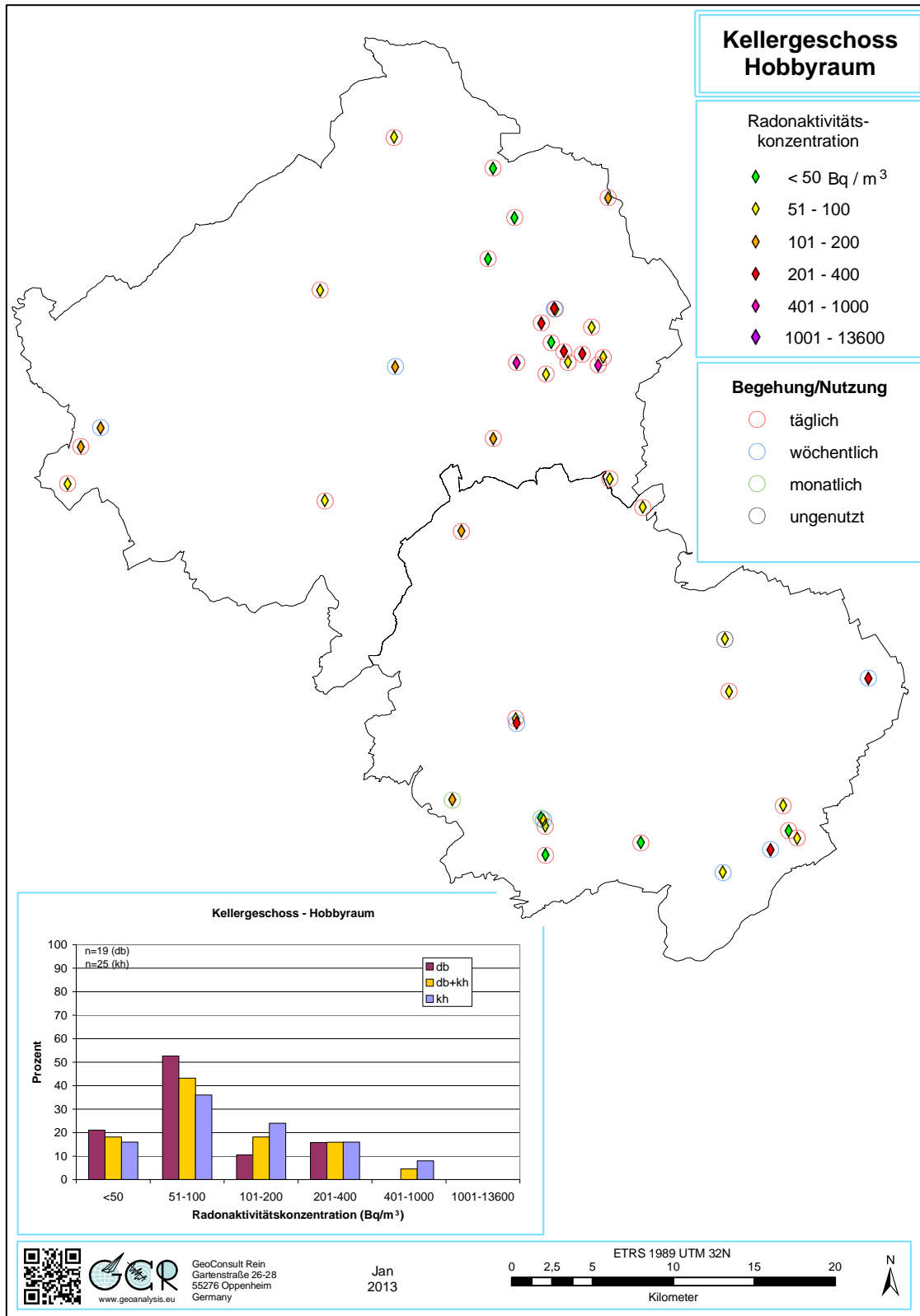


Abbildung 2.22 Radonaktivitätskonzentrationen in Hobbyräumen im Kellergeschoss.

Die Arbeitszimmer sind z.T. in Vollzeit gewerblich genutzt. Aus Abbildung 2.21 (S. 34) geht hervor, dass nur zwei der 25 im Kellergeschoss liegenden Arbeitszimmer beider Kreise nicht täglich genutzt werden.

Die in den Arbeitszimmern gemessenen Radonkonzentrationen erreichen bis zu mehreren tausend Bq/m³ im Kreis Bad Kreuznach (Abb. 2.21). Im Donnersbergkreis überschreitet keines der Arbeitszimmer 400 Bq/m³, im Kreis Bad Kreuznach sind es aber mehr als 15% und über 38% überschreiten dort 200 Bq/m³.

In beiden Kreisen wurden in 44 im Kellergeschoss liegenden Hobbyräumen gemessen. Dreiviertel dieser Räume werden täglich genutzt (Abb. 2.22, S. 35).

Die Hälfte der Räume (52%) hatte über den Untersuchungszeitraum mittlere Radonkonzentrationen von unter 100 Bq/m³ (Abb. 2.22). Wie schon bei den Arbeitszimmern festgestellt sind die Hobbyräume mit höheren Radonkonzentrationen vermehrt im Kreis KH angesiedelt. Konzentrationen über 400 Bq/m³ treten in der Stichprobe nur im Kreis KH auf.

Kellerräume mit einer Nutzung „Sonstiges“ sind 196 mal in der Studie vertreten. Etwa die Hälfte davon sind Vorrats- und Lagerräume, die restlichen sind Flure oder Wirtschaftsräume wie Waschküche, Bügelzimmer, Werkstatt, aber auch häufig Küchen. Die am häufigsten vertretene Radonkonzentrationsklasse (Abb. 2.23, S. 37) im Donnersbergkreis ist die 100-200 Bq/m³ – Klasse, im Kreis Bad Kreuznach die 50-100 Bq/m³ – Klasse, aber die höheren Radonkonzentrationen treten auch bei diesen Räumen wieder leicht vermehrt im Kreis KH auf. Räume mit Radonkonzentrationen über 1000 Bq/m³ wurden durch diese Studie nur im Kreis KH angetroffen. Fast zwei Drittel (63%) der Räume der Nutzung „Sonstiges“ werden täglich aufgesucht (Abb. 2.23).

Für fünf der Kellerräume in beiden Kreisen liegen keine Angaben zur Nutzung vor (Abb. 2.24, S. 38). Nur einer davon, der mit den höchsten Radonkonzentrationen wird täglich aufgesucht.

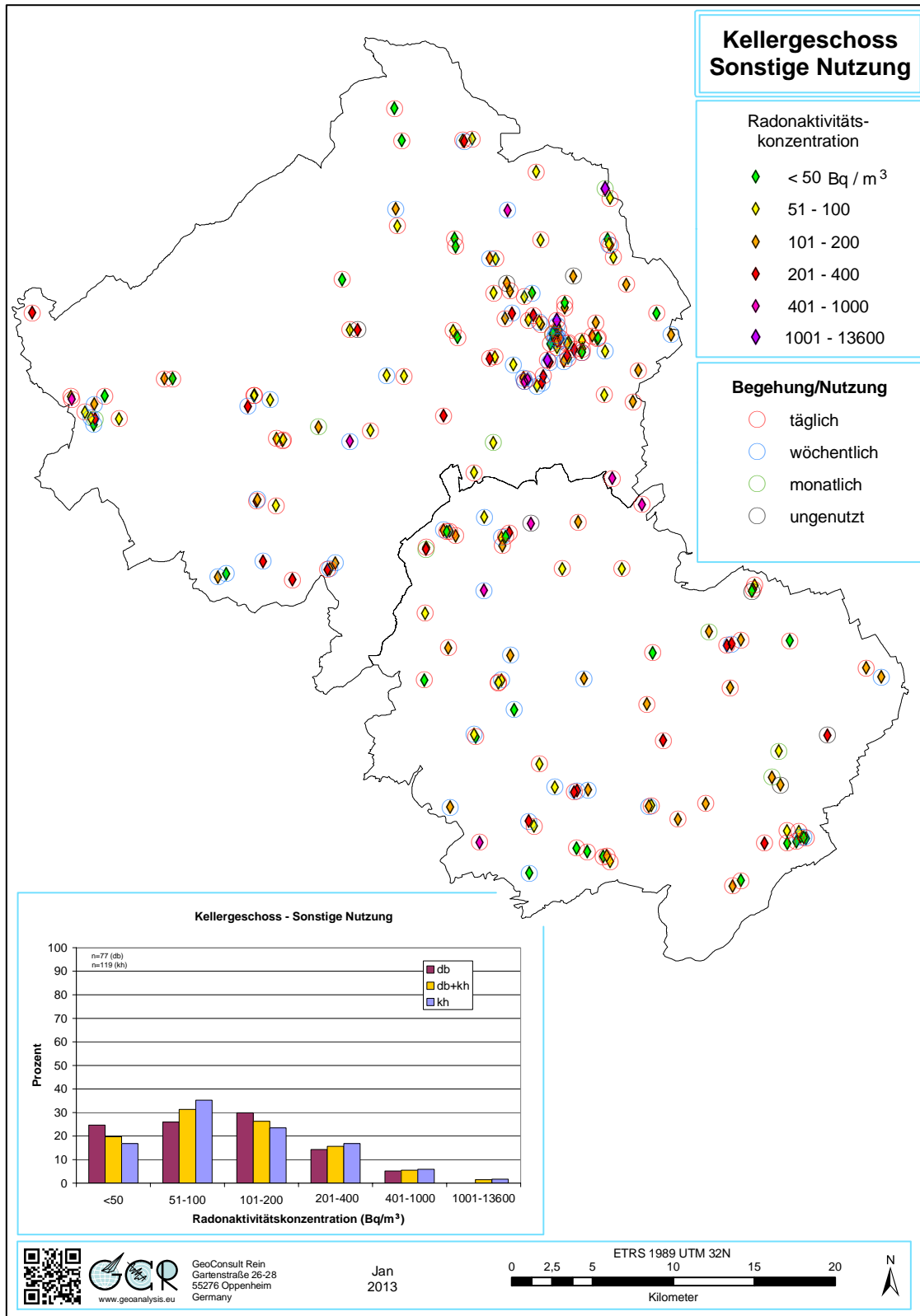


Abbildung 2.23 Radonaktivitätskonzentrationen in sonstig genutzten Räumen im Kellergeschoss.

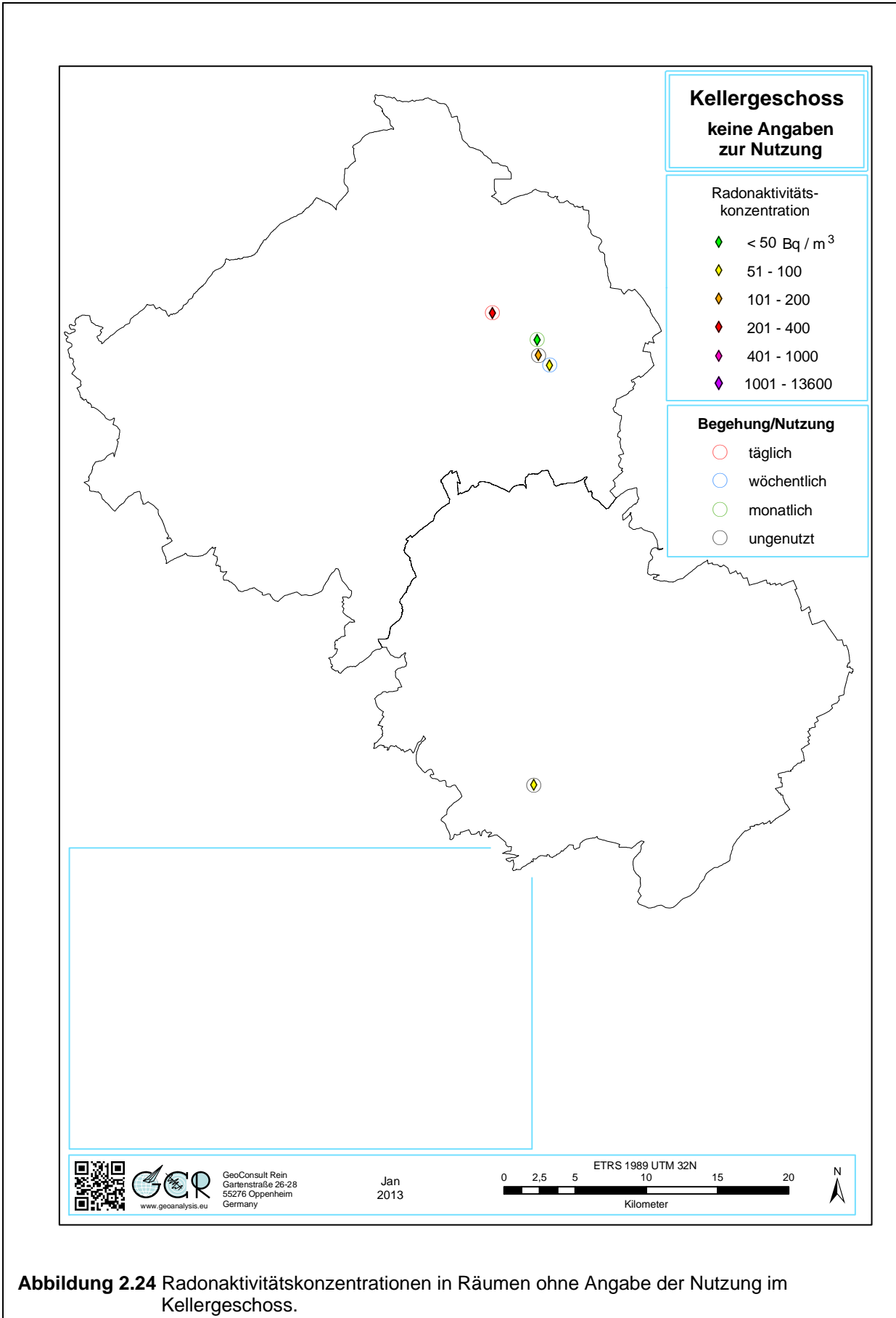
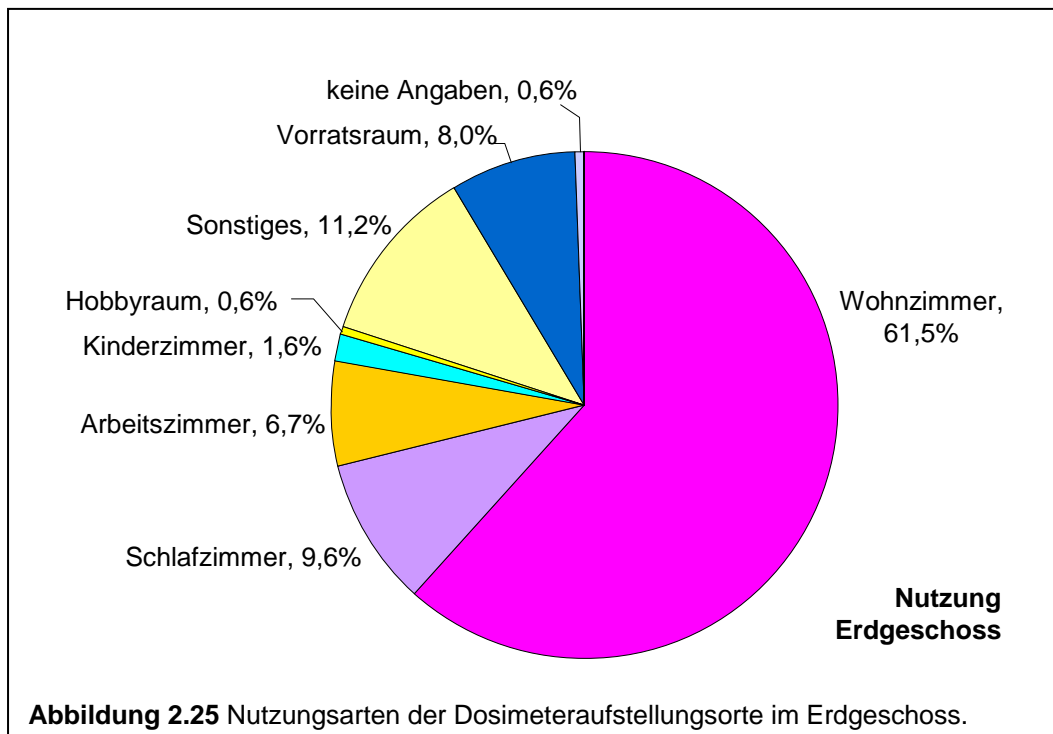


Abbildung 2.24 Radonaktivitätskonzentrationen in Räumen ohne Angabe der Nutzung im Kellergeschoss.

2.2.2 Erdgeschoss

Für die Auswertung standen 312 Erdgeschossräume (KH: 170, DB: 140) zur Verfügung. Davon werden 192 als Wohnzimmer, 30 als Schlafzimmer, 5 als Kinderzimmer, 21 als Arbeitszimmer, 2 als Hobbyraum, 25 als Vorratsraum, eine sonstige Nutzung haben 35 Räume und für 2 Räume ist keine Nutzungsart benannt (Abb. 2.25).



In mehr als der Hälfte aller Erdgeschossräume wurden mittlere Radonkonzentrationen unter 50 Bq/m^3 gemessen (Abb. 2.26, S. 40), wobei der Anteil der Häuser mit niedrigen Radonkonzentrationen im Donnersbergkreis 7 Prozentpunkte höher lag als im Kreis KH. Umgekehrt gilt dies für die Häuser, in denen $>50-100 \text{ Bq/m}^3$ im Erdgeschoss gemessen wurden. Hier ist der Kreis KH 12,5 Prozentpunkte häufiger vertreten als der Donnersbergkreis. Mit Ausnahme der Radonklasse $>1000 \text{ Bq/m}^3$ treten in den Klassen $>100-200 \text{ Bq/m}^3$, $>200-400 \text{ Bq/m}^3$ und $>400-1000 \text{ Bq/m}^3$ jeweils häufiger im Donnersbergkreis höhere Radonkonzentrationen auf.

Betrachtet man nur die Wohnzimmer (Abb. 2.27, S. 41), so ergibt sich auch aufgrund des hohen Anteils der Wohnzimmer an den untersuchten Erdgeschoßräumen ein ähnliches Bild mit Ausnahme der niedrigsten Radonkonzentrationsklasse in der Donnersbergkreis und Kreis KH gleichstark vertreten sind.

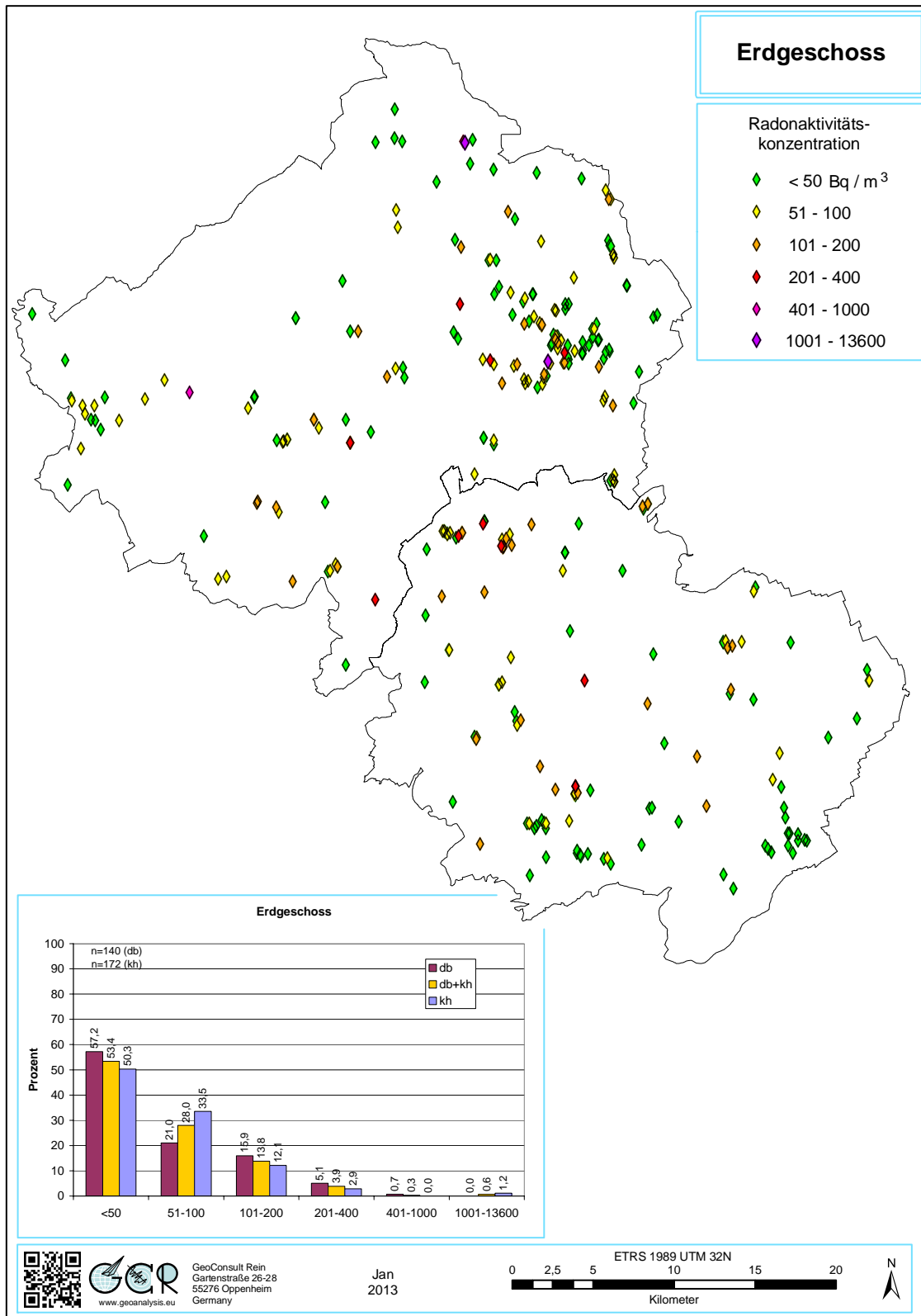


Abbildung 2.26 Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen.

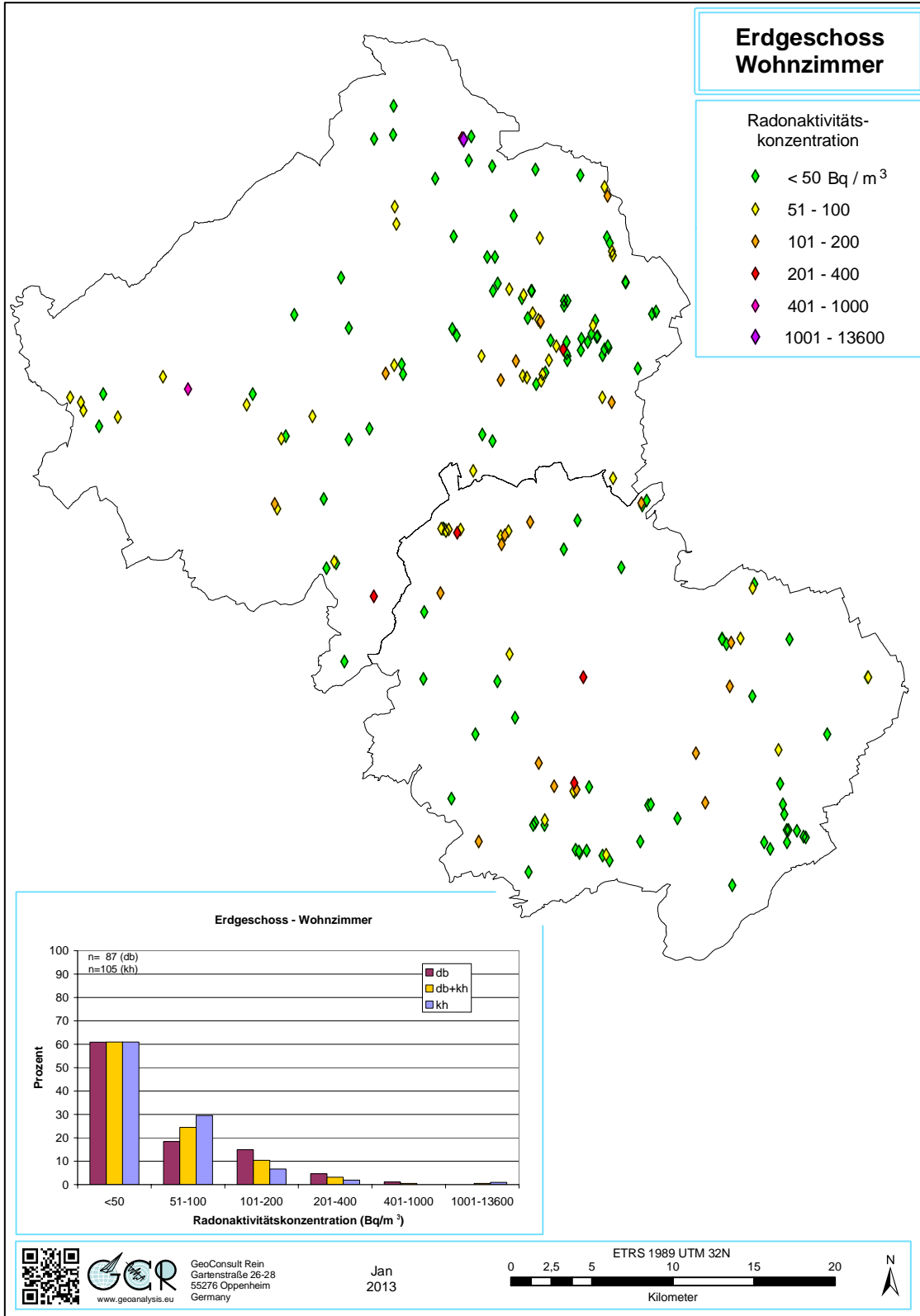


Abbildung 2.27 Radonaktivitätskonzentrationen in Wohnzimmern im Erdgeschoss.

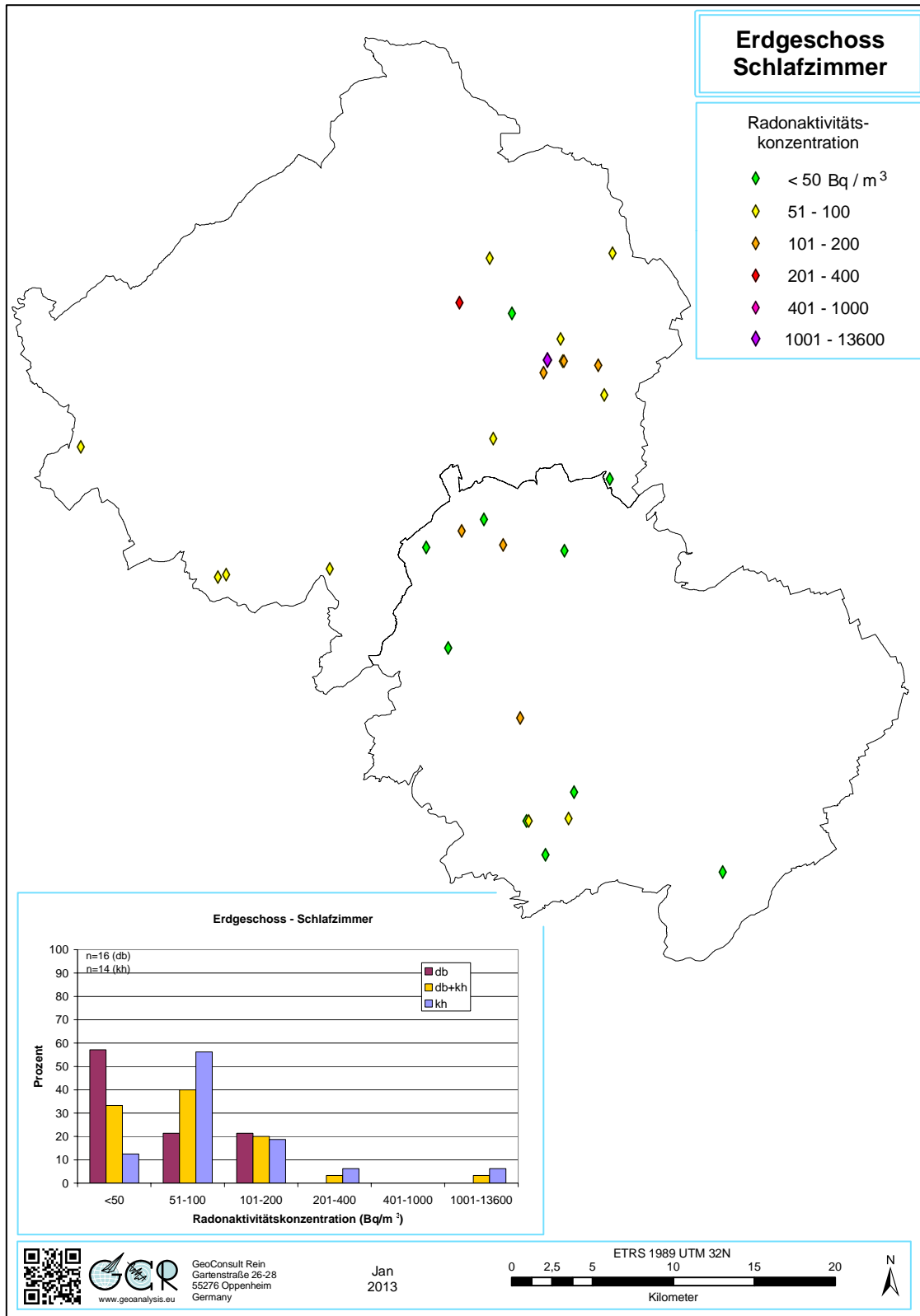


Abbildung 2.28 Radonaktivitätskonzentrationen in Schlafzimmern im Erdgeschoss.

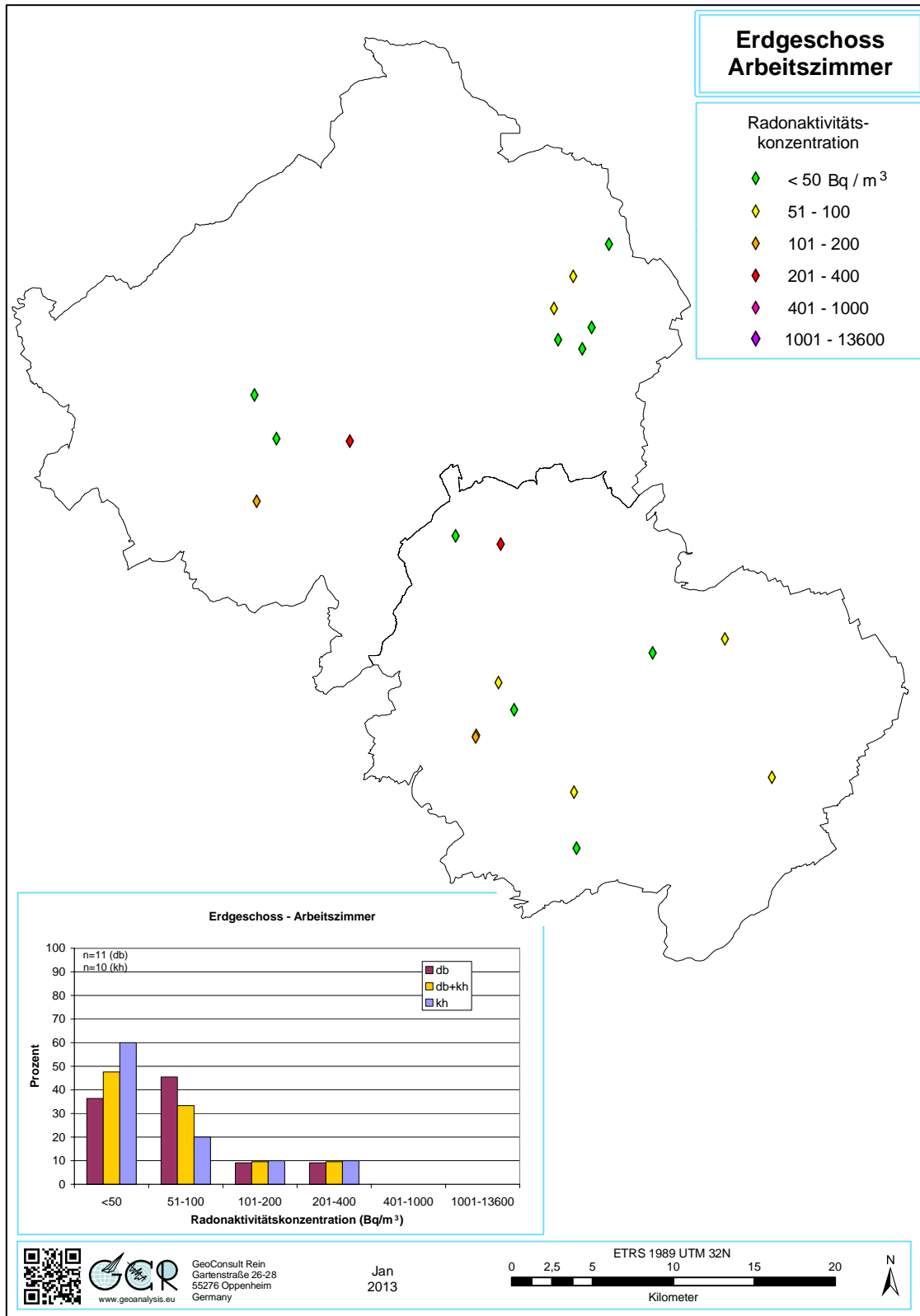


Abbildung 2.29 Radonaktivitätskonzentrationen in Arbeitszimmern im Erdgeschoss.

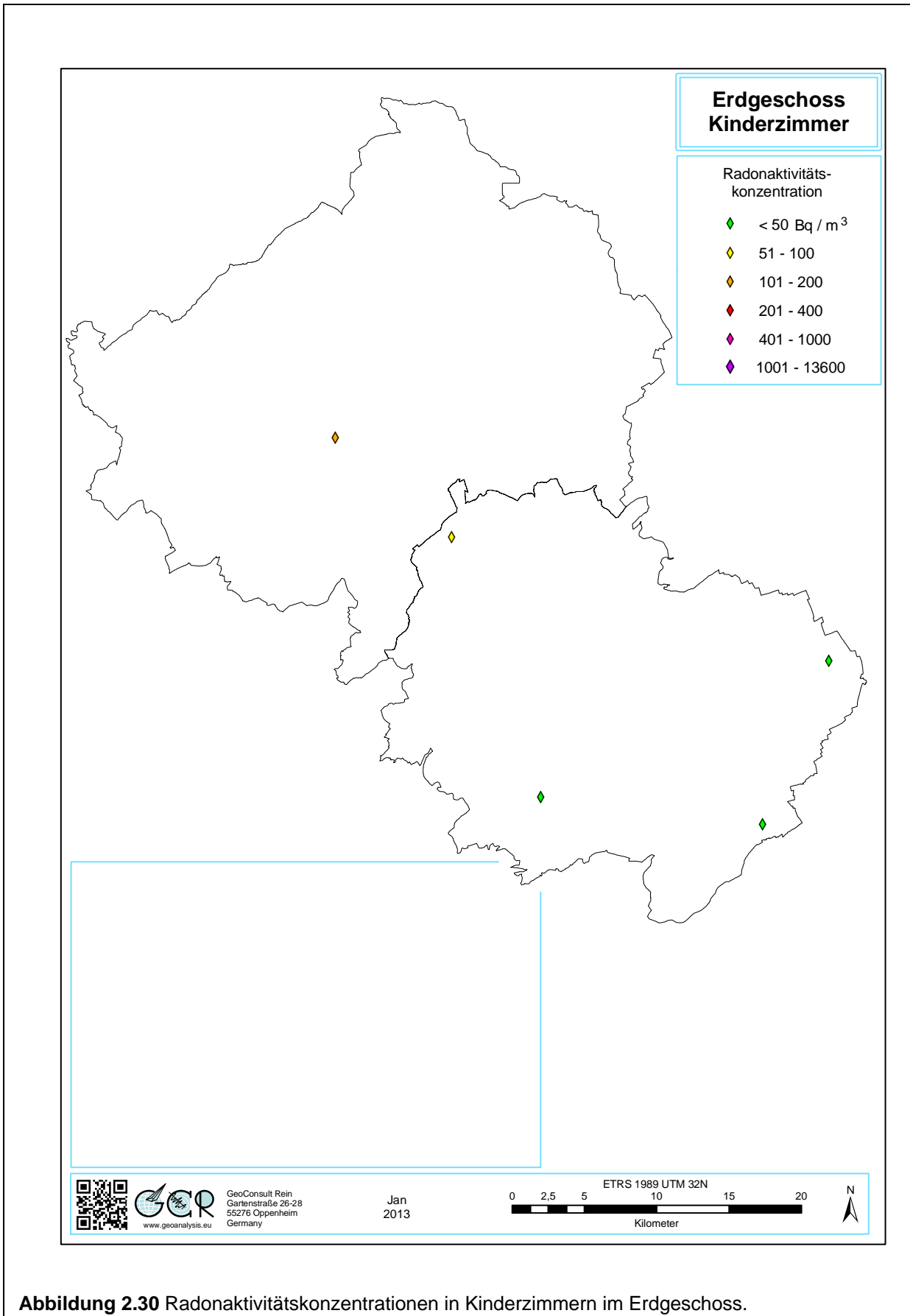


Abbildung 2.30 Radonaktivitätskonzentrationen in Kinderzimmern im Erdgeschoss.

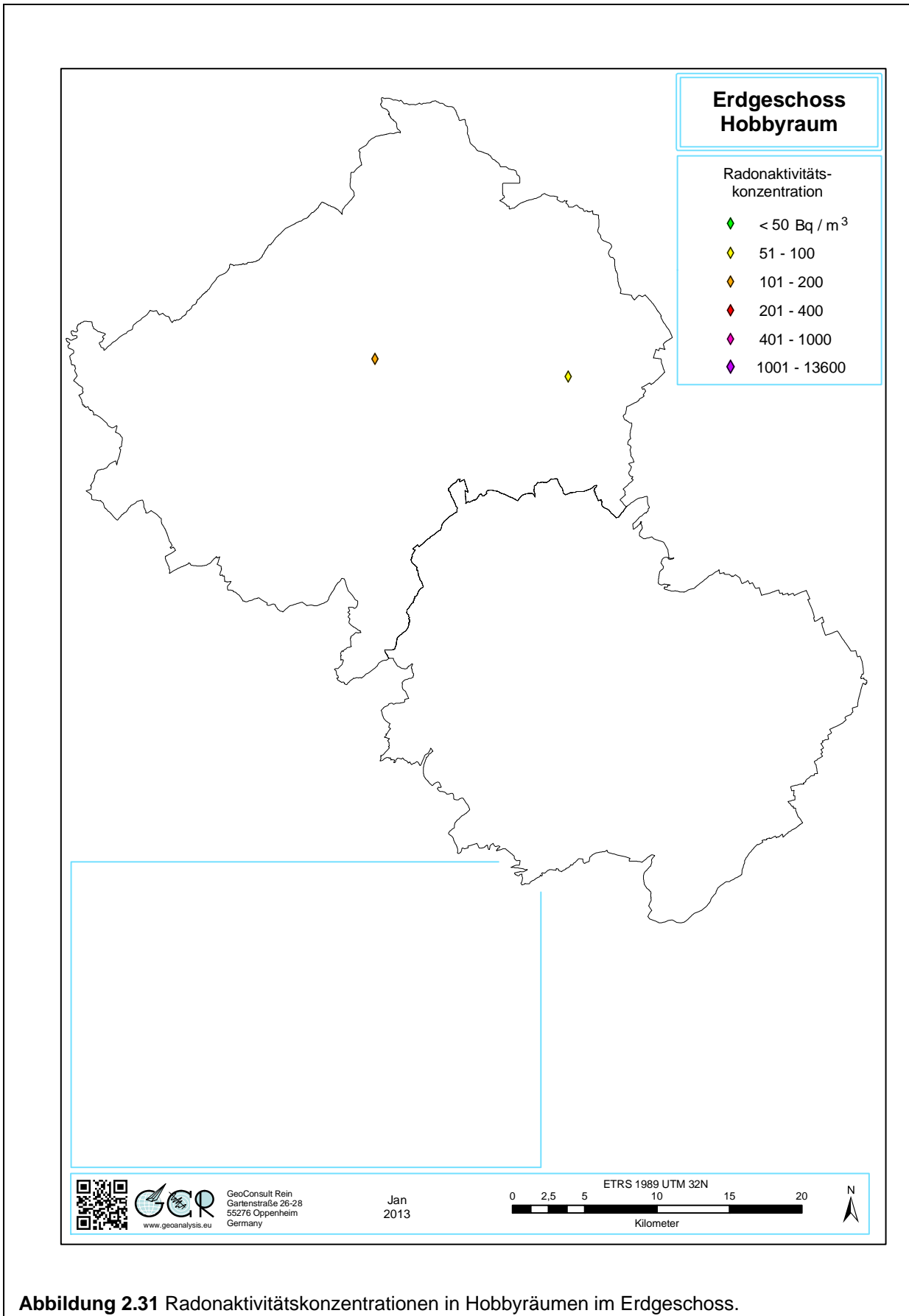


Abbildung 2.31 Radonaktivitätskonzentrationen in Hobbyräumen im Erdgeschoss.

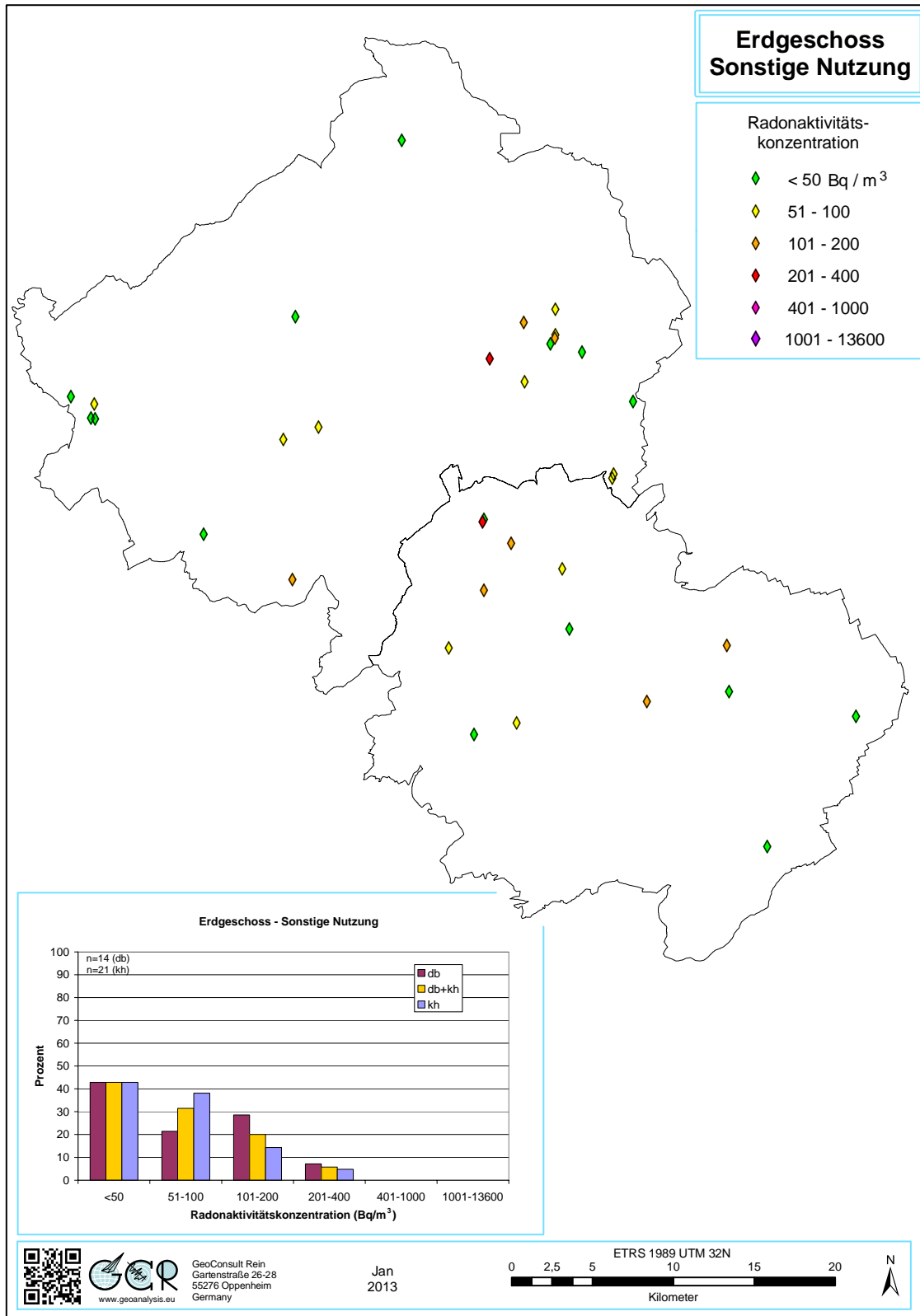


Abbildung 2.32 Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen mit einer sonstigen Nutzung.

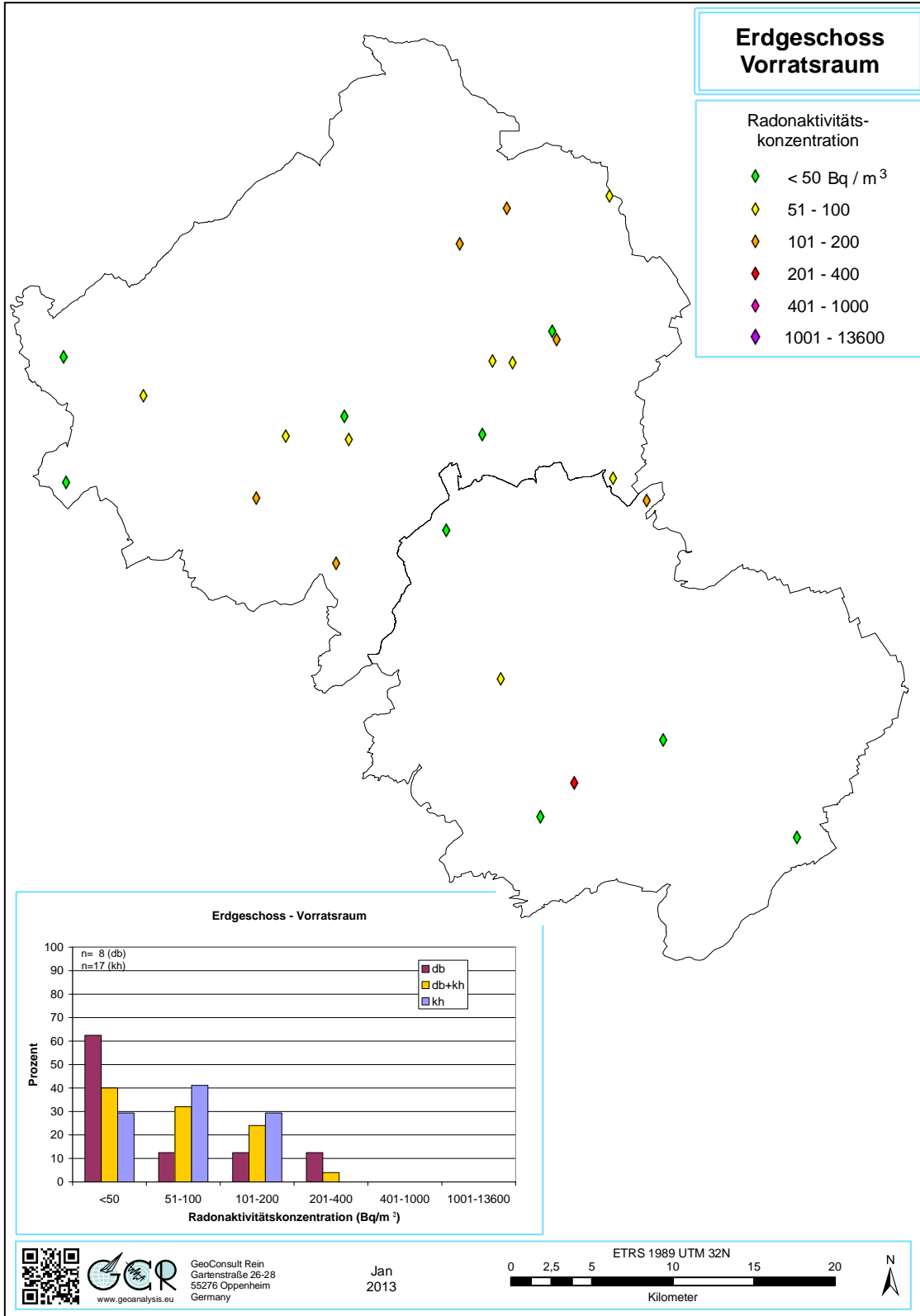
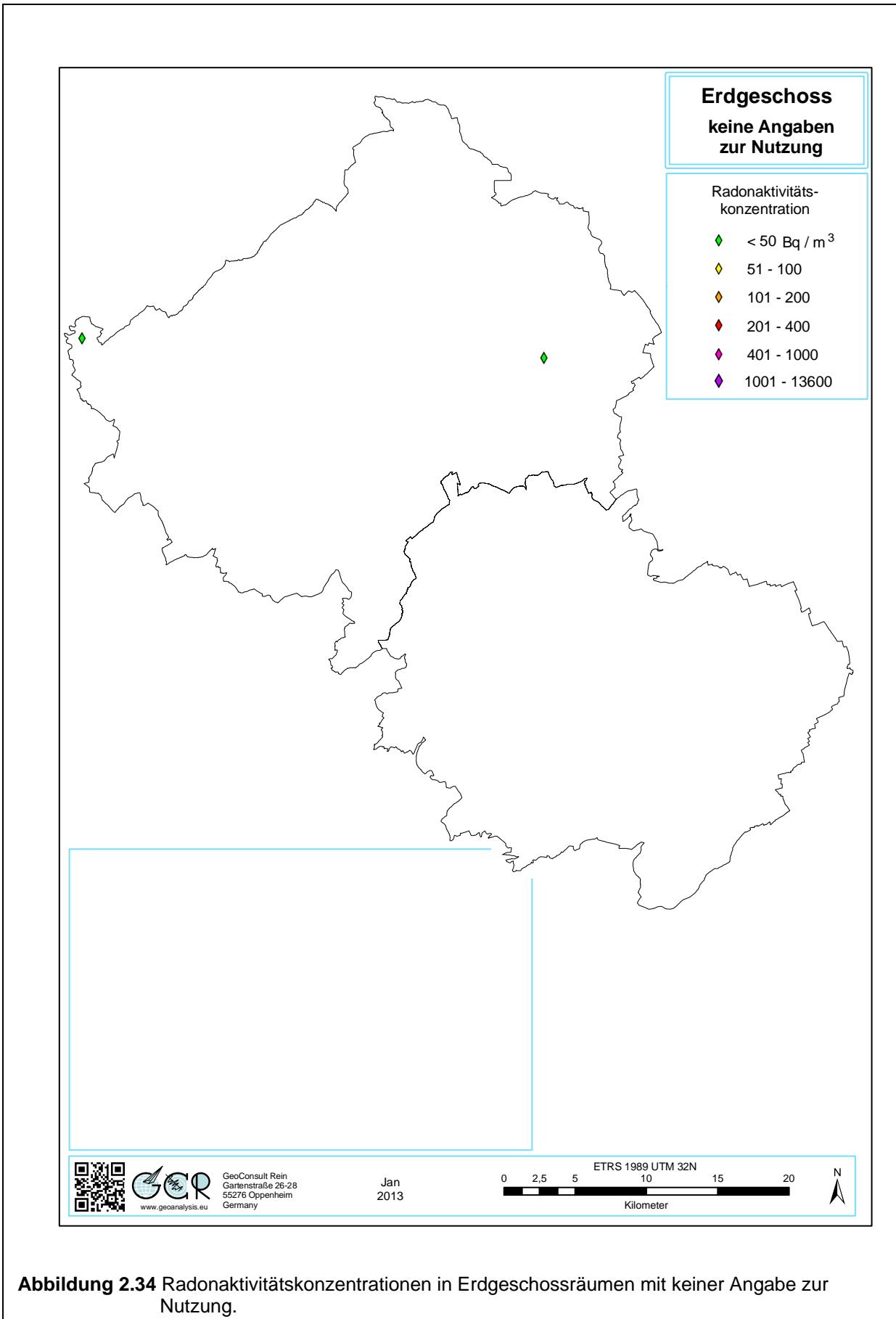


Abbildung 2.33 Radonaktivitätskonzentrationen in Vorratsräumen im Erdgeschoss.



Die 30 untersuchten Schlafzimmer sind fast gleichgewichtig zwischen den Kreisen verteilt (DB: 16, KH: 14). Die Tendenz zu höheren Radonkonzentrationen in den untersuchten Schlafzimmern des Kreises KH belegt Abbildung 2.28 (S. 42). Die höchsten Werte innerhalb dieser Studie betragen zwischen 1000-1400 Bq/m³. Außerhalb der Studie wurden von GCR Werte gemessen die das Dreifache dieser Werte erreichen. Hohe Werte wurden vor allem im Kreis Bad Kreuznach gemessen.

Die Anzahl der Erdgeschoss-Arbeitszimmer beträgt nur 21 (DB:11, KH: 10). Werte über 400 Bq/m³ wurden für diese Nutzungsart innerhalb der Studie bisher noch nicht gemessen (Abb. 2.29, S. 43).

Fünf Erdgeschoss-Kinderzimmer, davon nur eines aus dem Kreis KH haben an der Studie teilgenommen mit überwiegend niedrigen Radonkonzentrationen (Abb. 2.30, S. 44).

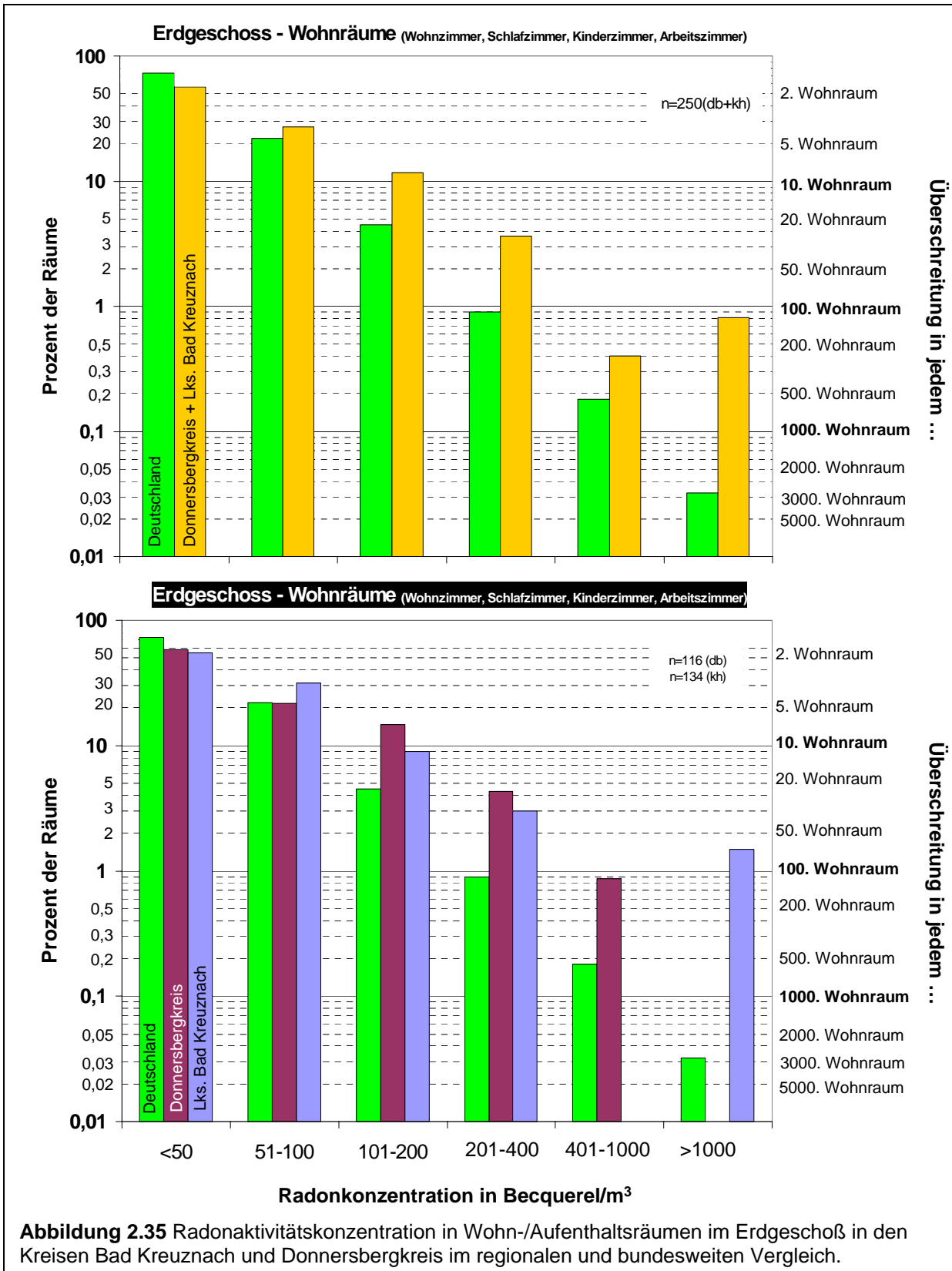
Auch die beiden Erdgeschoss-Hobbyräume, beide im Kreis KH, hatten moderate Radonkonzentrationen (Abb. 2.31, S. 45)

In keinem der 35 Erdgeschossräumen (DB: 14, KH: 21) mit einer „Sonstigen Nutzung“ (vorwiegend Küche/Esszimmer oder ähnliches) wurden Radonaktivitätskonzentrationen über 400 Bq/m³ gemessen. Über 100 Bq/m³ hatten 26% der Räume, davon 6% über 200 Bq/m³. Der Anteil der Räume mit Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ sowie auch über 200 Bq/m³ ist jeweils im Donnersbergkreis höher und beträgt 29% bzw. 7%.

In den 25 Erdgeschoss-Vorratsräumen (DB: 8, KH: 17) wurden auch keine Radonkonzentrationen über 400 Bq/m³ beobachtet, im Kreis KH auch keine über 200 Bq/m³.

Die beiden Erdgeschossräume mit keiner Angabe zur Nutzung hatten beide sehr niedrige Radonkonzentrationen unter 50 Bq/m³.

In Abbildung 2.35 ist die relative Häufigkeit, der in Wohn- bzw. Aufenthaltsräumen vorkommenden Radonkonzentrationen im Projektgebiet im Vergleich zu den dem „Radonhandbuch Deutschland (2010)“ des Bundesamtes für Strahlenschutz entnommenen Häufigkeiten für Deutschland gegenübergestellt. Der Darstellungsmaßstab der Häufigkeit im Radonhandbuch wie auch in Abbildung 2.35 ist



logarithmisch, um hohe und niedrige Häufigkeiten gleichermaßen vergleichen zu können.

Als Wohnräume/Aufenthaltsräume werden die Räume eines Hauses oder einer Wohnung mit langen Aufenthaltszeiten betrachtet. Dabei handelt es sich vor allem um Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer und Arbeitszimmer.

In dem Radonhandbuch (BfS 2010) wird in Kapitel 1.4 auf Seite 1-4 zu den Richtwerten mit nachfolgendem Zitat Stellung genommen:

„In ihrem Radonhandbuch schlägt die Weltgesundheitsorganisation (WHO) vor, dass soweit es die nationalen Gegebenheiten zulassen, ein Referenzwert von 100 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft festgelegt werden soll. Der Referenzwert stellt die maximal akzeptable Radonkonzentration in einem Wohnraum dar. Auch das BfS (Bundesamt für Strahlenschutz, Einfügung Berichtsautor) empfiehlt neue Gebäude so zu errichten, dass die Radonkonzentration unter 100 Bq/m^3 liegt. Konzentrationen in bestehenden Gebäuden sollten auf Werte möglichst unter diesen Wert abgesenkt werden“ (Zitatende).

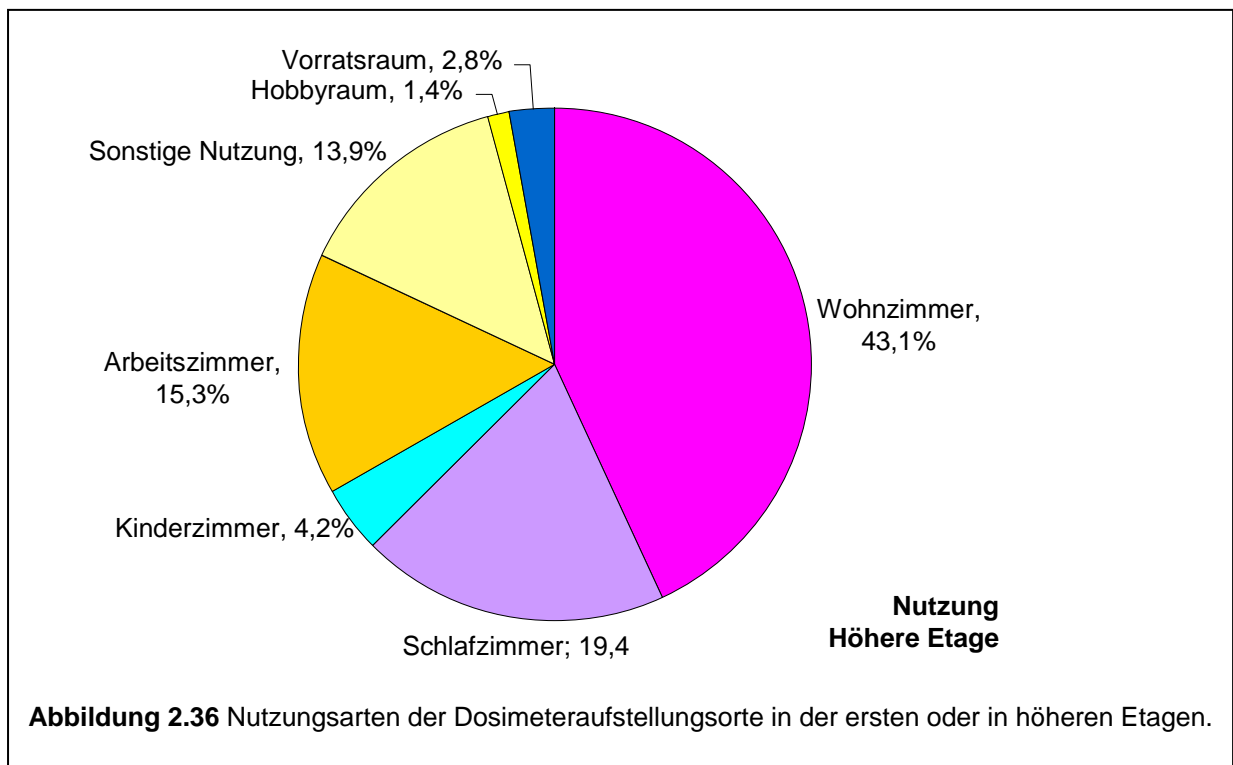
Im Bundesgebiet erfüllen nach Auswertung von mehreren tausend Aufenthaltsräumen schätzungsweise 88-90% der Aufenthaltsräume in Ein- und Zweifamilienhäusern diese Anforderung. Etwa 10-12% der Aufenthaltsräume (Ein-/Zweifamilienhäuser) in Deutschland überschreiten damit den Richtwert von 100 Bq/m^3 . Im Projektgebiet Donnersbergkreis/Kreis Bad Kreuznach sind es rund 17% der Studienteilnehmer, die diesen Richtwert von 100 Bq/m^3 im Erdgeschoss überschreiten.

Radonkonzentrationen zwischen >100 und 200 Bq/m^3 wurden im Projektgebiet 2,5 mal häufiger, >200 und 400 Bq/m^3 viermal häufiger und >400 und 1000 Bq/m^3 doppelt so häufig wie im Bundesdurchschnitt angetroffen. Nur in etwa jedem 3000. Aufenthaltsraum im Bundesgebietsdurchschnitt werden 1000 Bq/m^3 überschritten. Im Projektgebiet Donnersbergkreis/Kreis KH tritt dieser Fall statistisch gesehen 25 mal häufiger auf.

2.2.3 Erste oder höhere Etagen

Für Räume der ersten oder höherer Etagen liegen 72 Radonmesswerte vor.

31 Wohnzimmer, 14 Schlafzimmer, 3 Kinderzimmer, 11 Arbeitszimmer, 1 Hobbyraum, 2 Vorratsräume und 10 sonstig genutzte Räume. Den jeweiligen prozentualen Anteil zeigt Abbildung 2.36.



Die Radonkonzentrationen in den Obergeschossen in den untersuchten Häusern der Studie überschreiten in keinem Fall 400 Bq/m^3 . In rund 87-88% der Räume liegen die Radonkonzentrationen unterhalb des Richtwertes von 100 Bq/m^3 . Rund 10% gehören der nächsthöheren Klasse ($>100\text{-}200 \text{ Bq/m}^3$) an und über 200 Bq/m^3 werden in immerhin noch fast 3% der hochgelegenen Räume registriert, die sich aus Räumen aus dem Kreis bad Kreuznach rekrutieren (Abb. 2.37, S. 53).

Unter den Räumen der höheren Etagen bilden die Wohnzimmer die größte Fraktion. In keinem dieser Räume im Donnersbergkreis werden 100 Bq/m^3 überschritten. Höhere Radonkonzentrationen wurden nur in zwei Wohnzimmern im Kreis Bad Kreuznach gemessen (Abb. 2.38, S. 54).

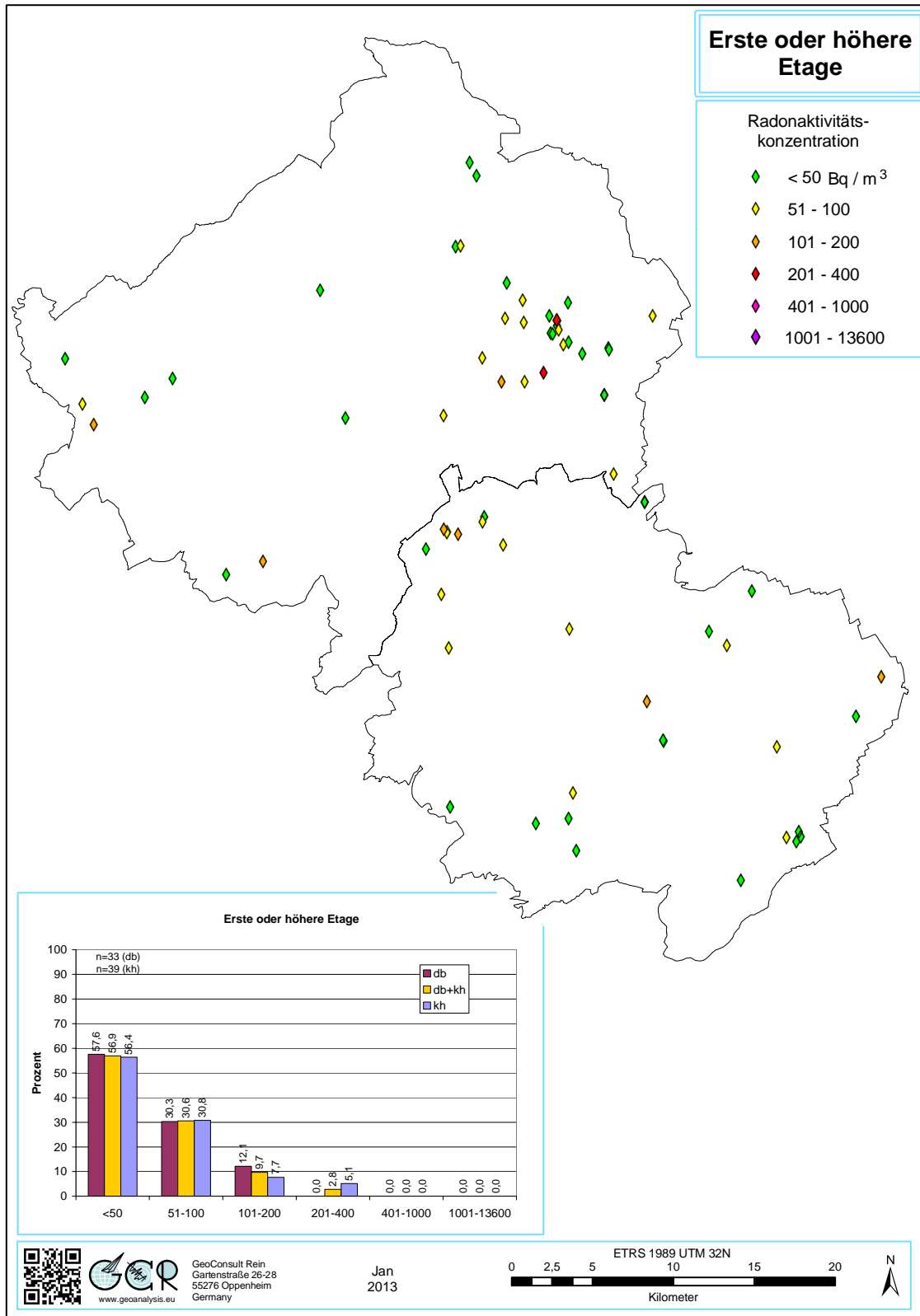


Abbildung 2.37 Radonaktivitätskonzentrationen in der ersten oder in höheren Etagen.

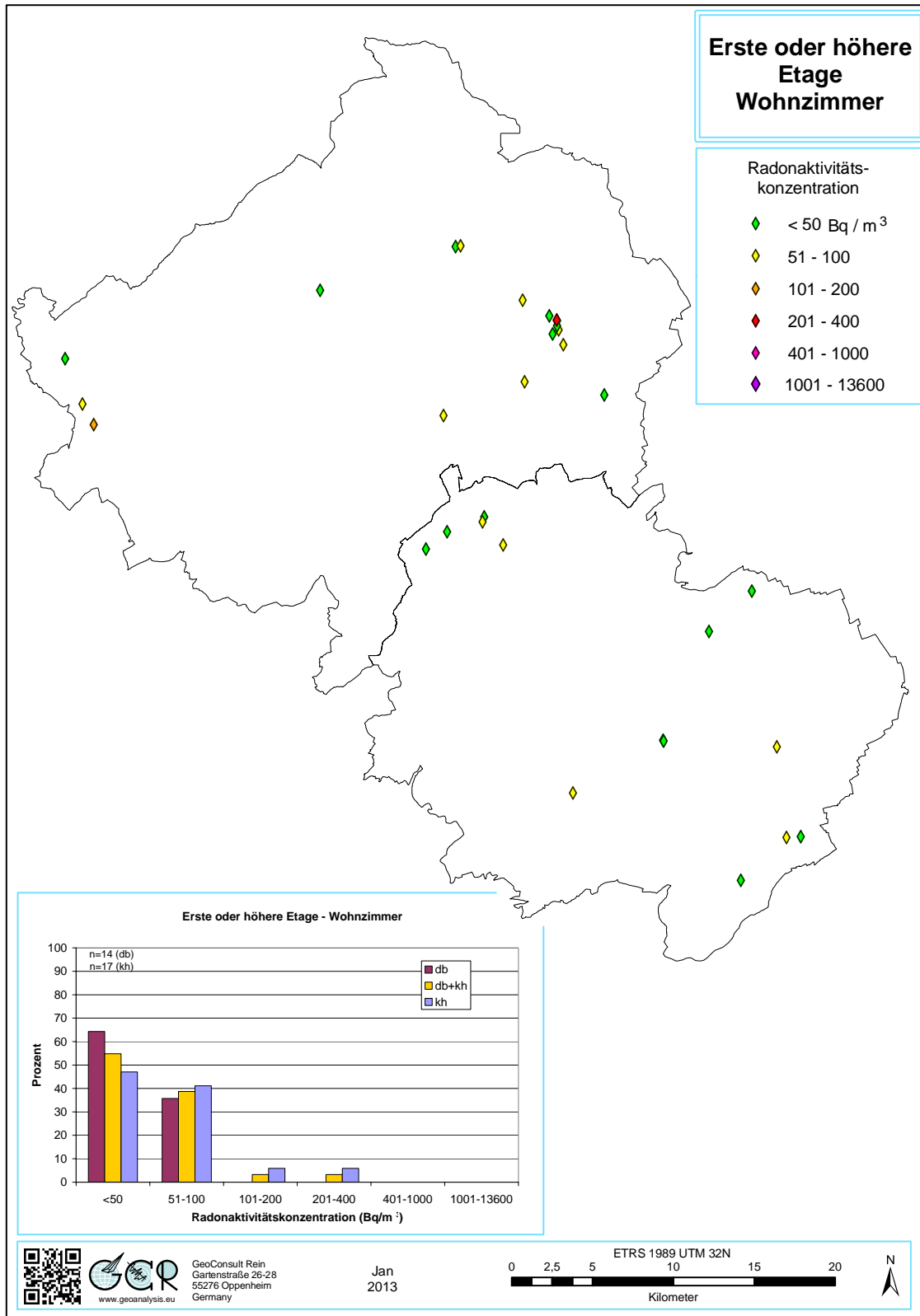


Abbildung 2.38 Radonaktivitätskonzentrationen in Wohnzimmern in der ersten oder in höheren Etagen.

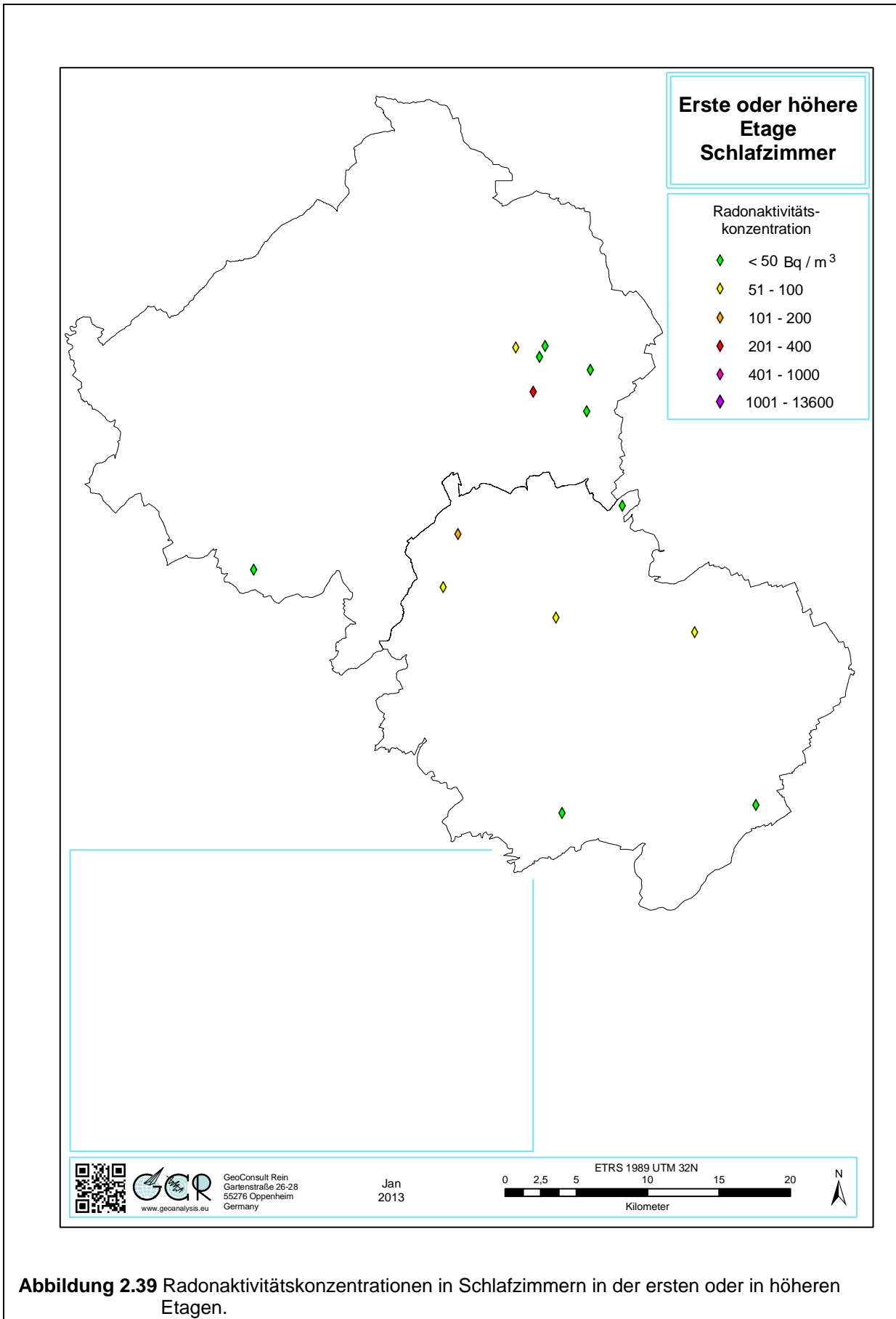
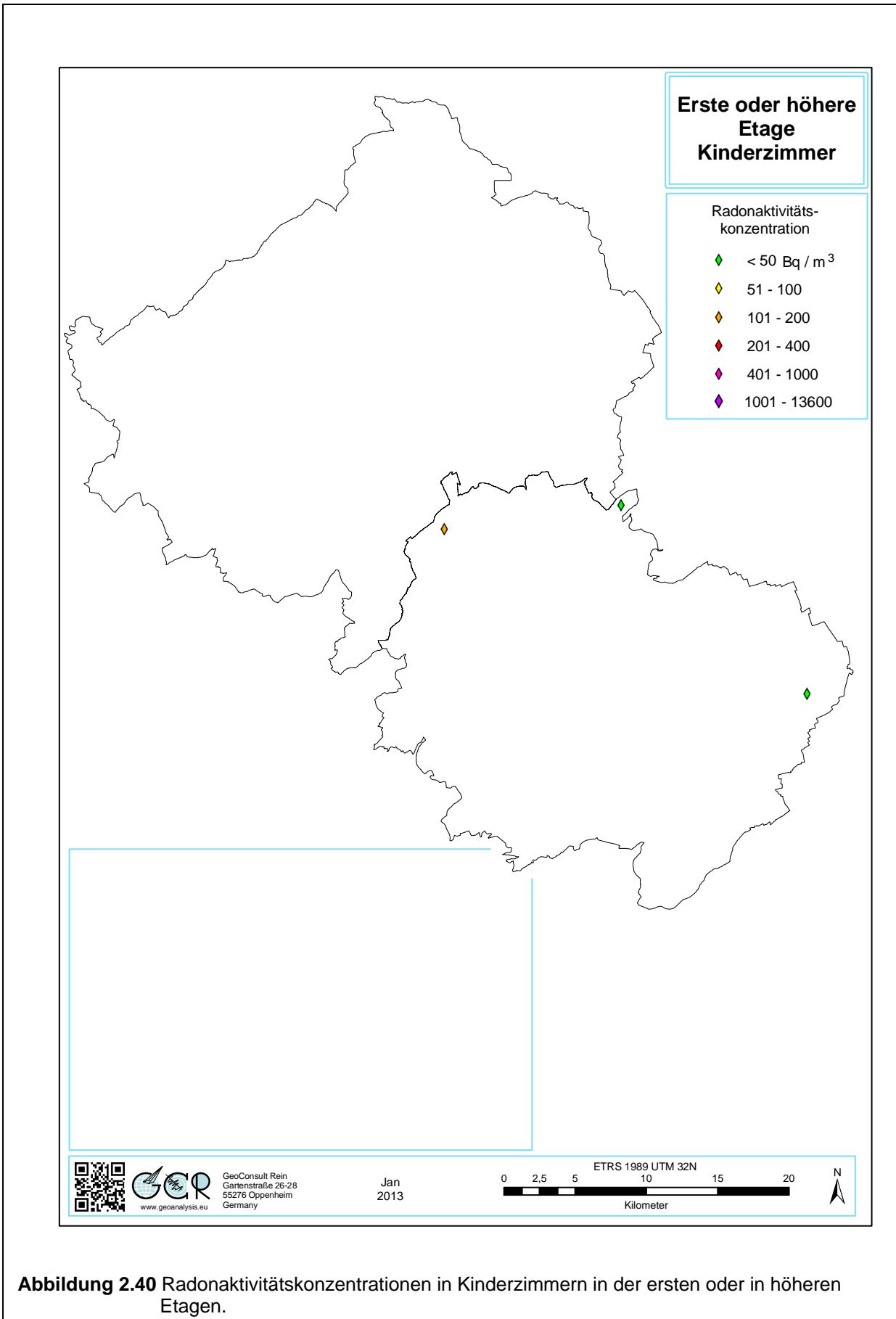


Abbildung 2.39 Radonaktivitätskonzentrationen in Schlafzimmern in der ersten oder in höheren Etagen.



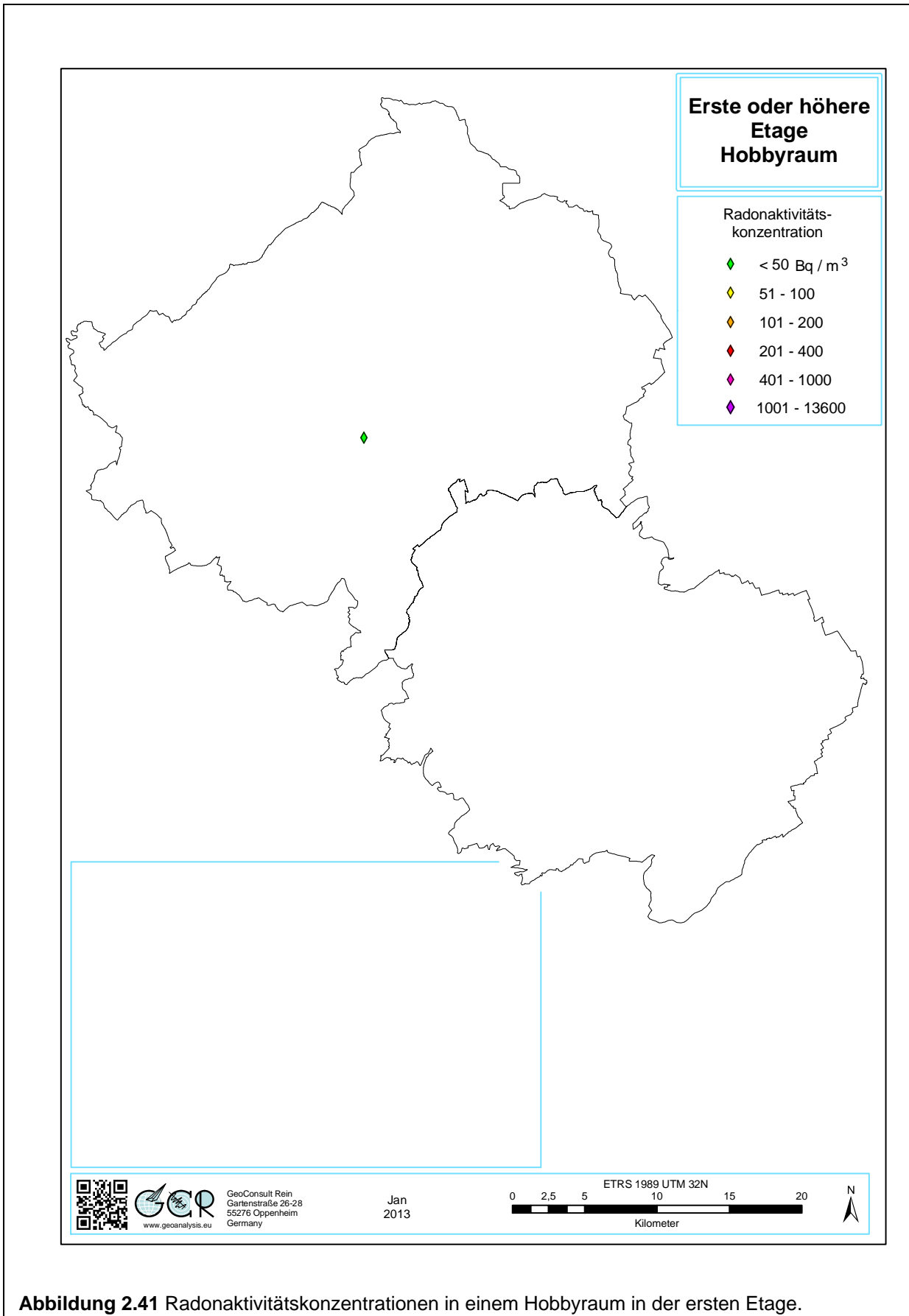


Abbildung 2.41 Radonaktivitätskonzentrationen in einem Hobbyraum in der ersten Etage.

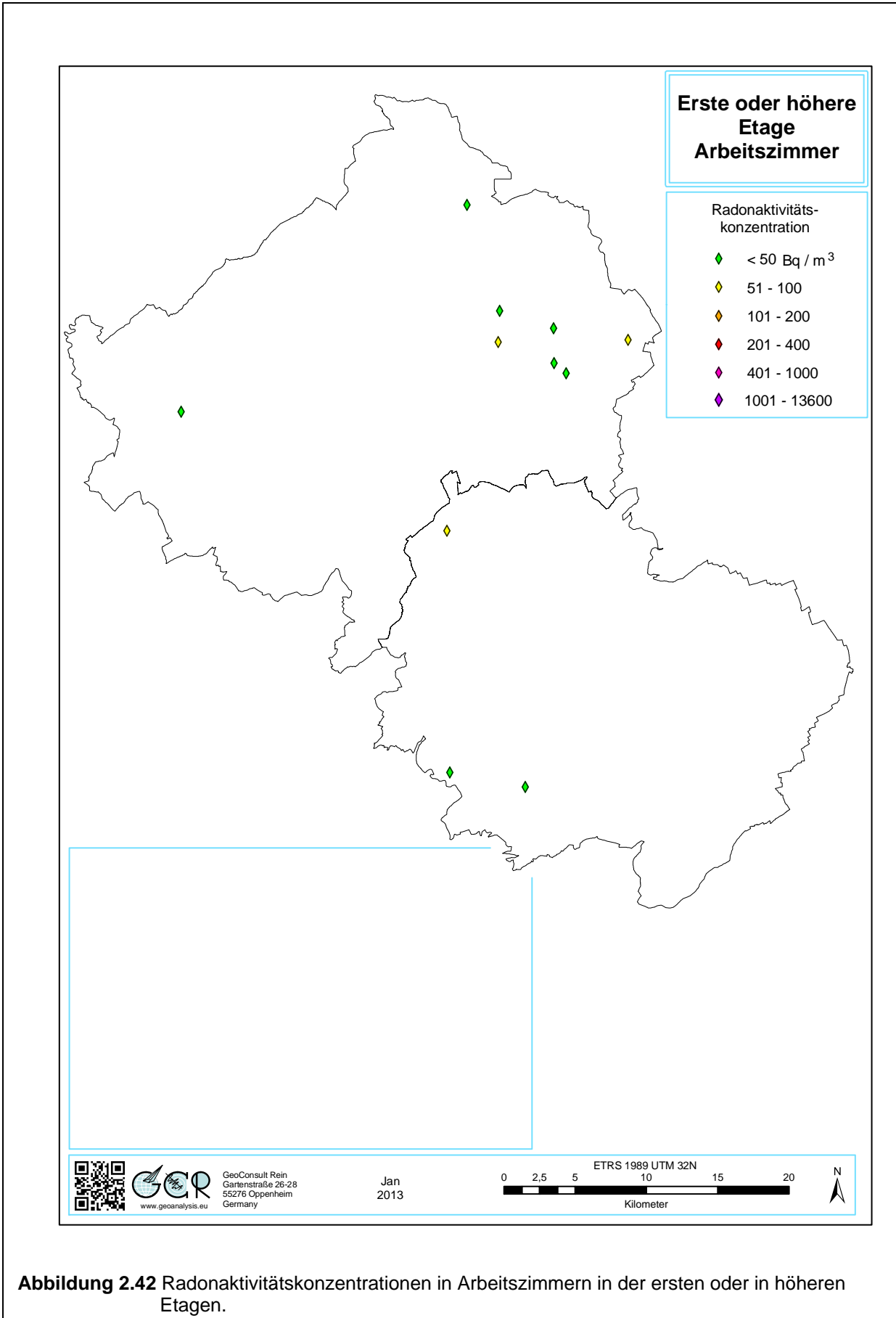


Abbildung 2.42 Radonaktivitätskonzentrationen in Arbeitszimmern in der ersten oder in höheren Etagen.

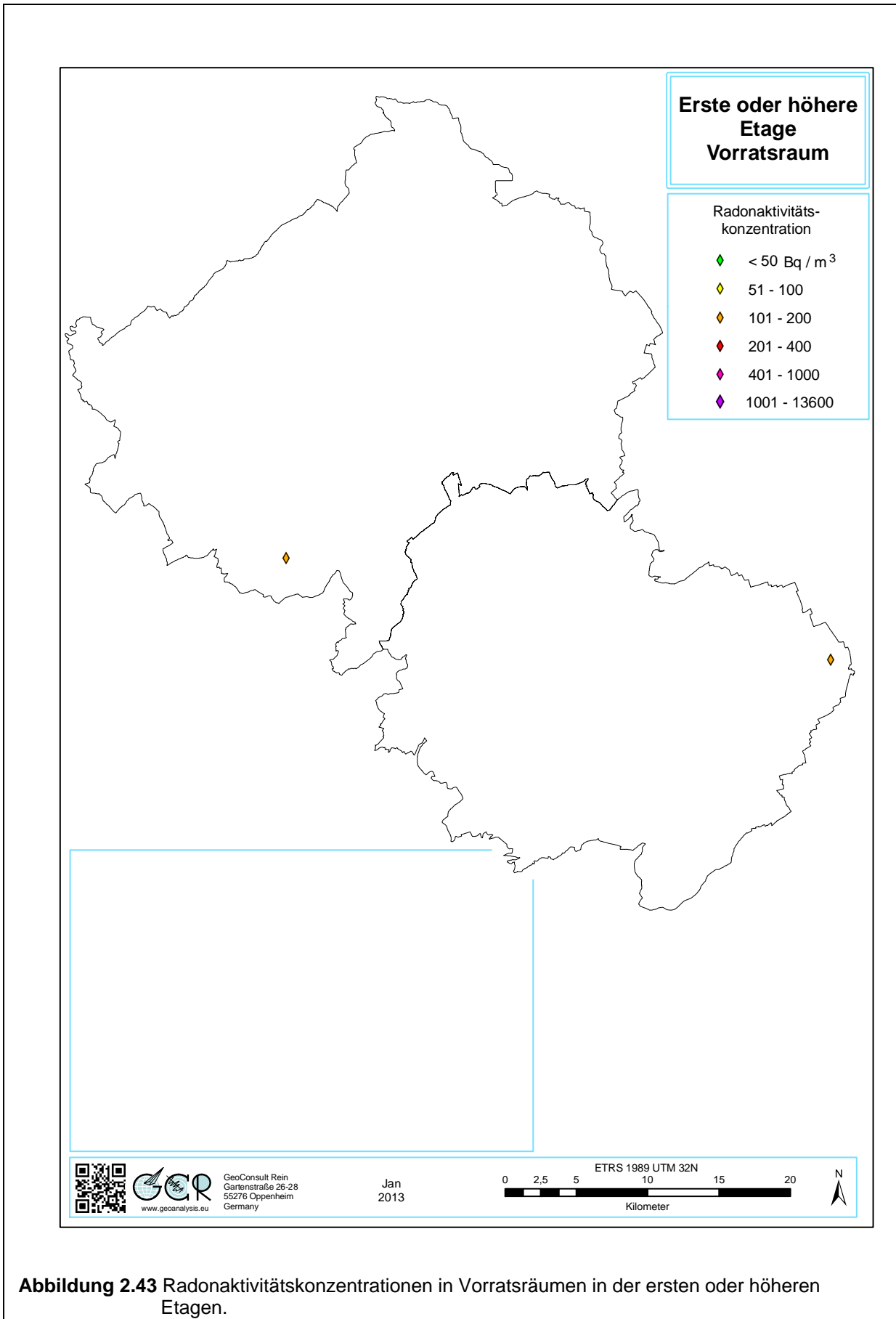


Abbildung 2.43 Radonaktivitätskonzentrationen in Vorratsräumen in der ersten oder höheren Etagen.

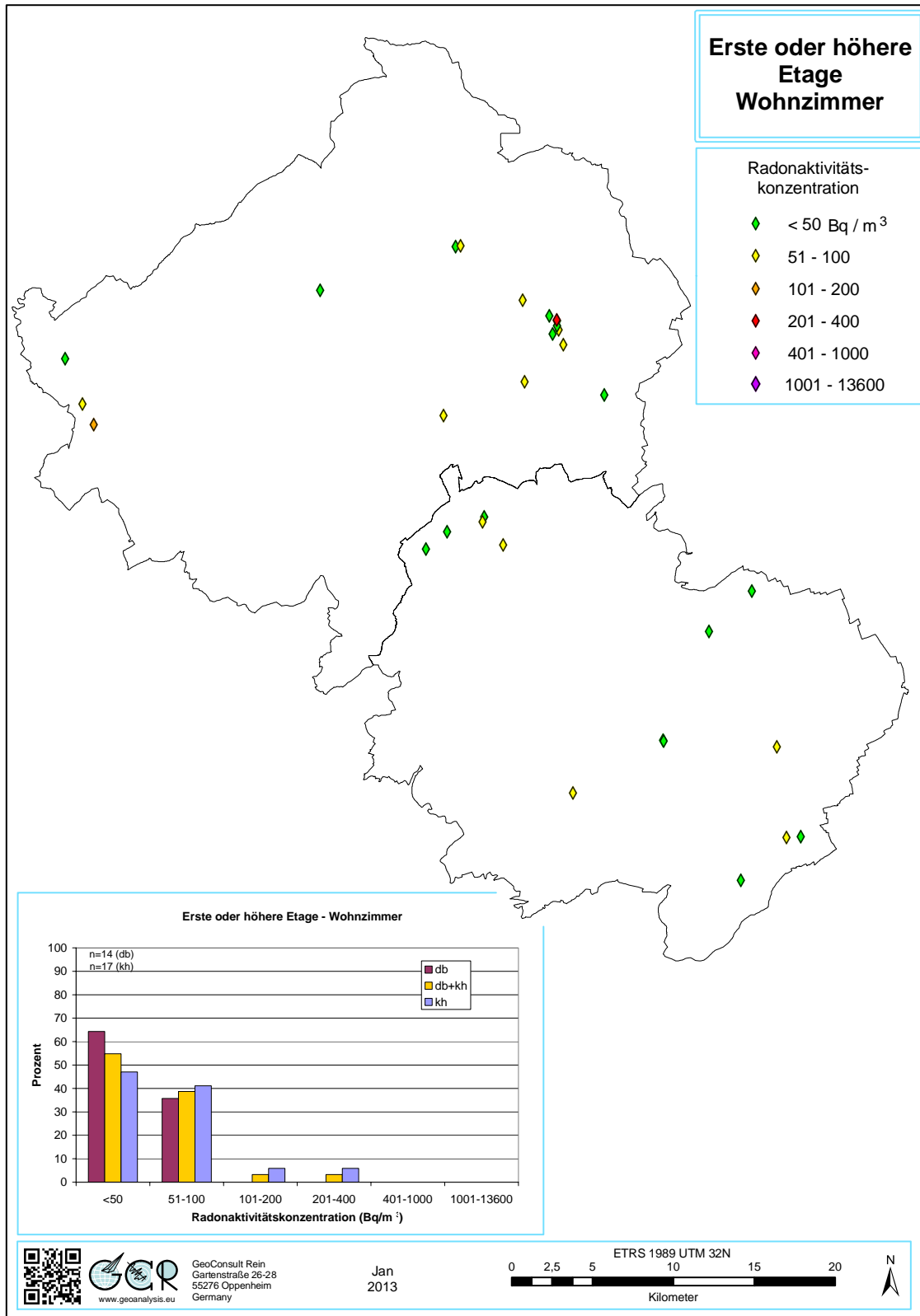


Abbildung 2.44 Radonaktivitätskonzentrationen in Räumen mit sonstiger Nutzung in der ersten oder in höheren Etagen.

In lediglich zwei von 14 Schlafzimmern wird der Richtwert überschritten, jeweils eines pro Landkreis (Abb. 2.39, S. 55).

Die studienteilnehmenden im Obergeschoss liegenden Kinderzimmer liegen alle im Donnersbergkreis. Eines der drei Kinderzimmer überschreitet den Richtwert (Abb. 2.40, S. 56).

Im Hobbyraum (Abb. 2.41, S. 57) und in den elf Arbeitszimmer (Abb. 2.42, S. 58) wurden Radonaktivitätskonzentrationen unter 100 Bq/m^3 gemessen.

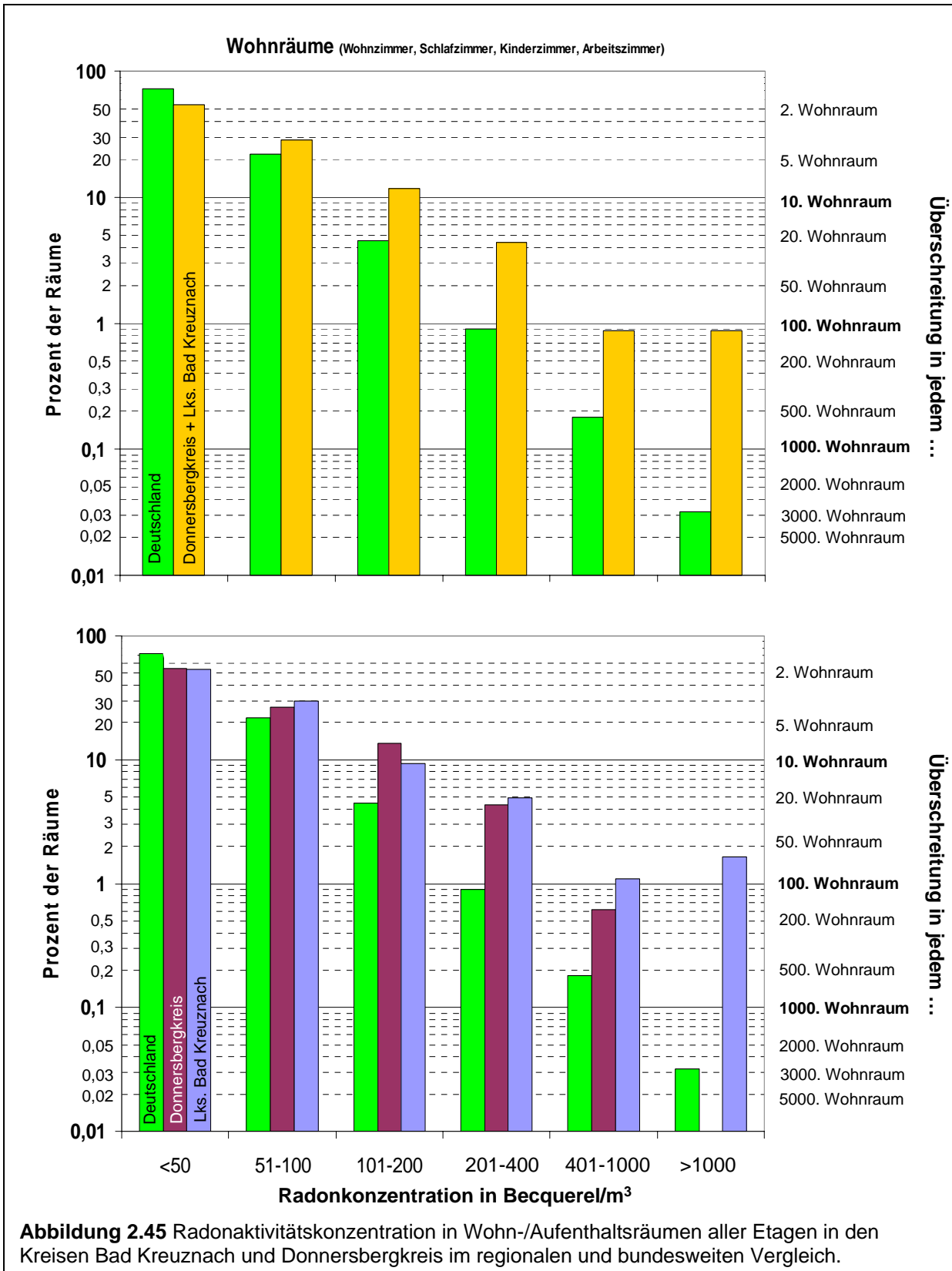
Die beiden Vorratsräume, jeweils einer je Kreis, lagen über 100 Bq/m^3 , aber unter 200 Bq/m^3 (Abb. 2.43, S. 59).

Von den 10 Räumen mit einer sonstigen Nutzung (meist Küchen) waren nur in zwei Räumen Richtwertüberschreitungen festzustellen (Abb. 2.44, S. 60). In keinem der Fälle wurden aber 200 Bq/m^3 überschritten.

2.2.4 Radonkonzentration in den Wohn-/Aufenthaltsräumen im Projektgebiet im überregionalen Vergleich

Vergleicht man alle Aufenthaltsräume aller Etagen mit dem bundesweiten Datensatz des Bundesamtes für Strahlenschutz (Radonhandbuch 2010), wie zuvor für die Erdgeschossaufenthaltsräume geschehen (vgl. S. 49ff und Abb. 2.35), so stellt sich die Situation wie in Abbildung 2.45 dar.

Die niedrigen Radonkonzentrationen sind im Projektgebiet weniger vertreten als im Bundesvergleich (Abb. 2.45, S. 62). Die Differenz zum Bundesdurchschnitt und damit das überdurchschnittlich häufige Vorkommen von höheren Radonkonzentrationen vergrößert sich zunehmend mit der Radonkonzentration. Innerhalb des Projektgebietes sind wiederum Aufenthaltsräume aus dem Kreis Bad Kreuznach überproportional mit höheren Radonkonzentrationen vertreten.



2.3 Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Radonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Bauweise

In den Abbildungen dieses Kapitels werden die Radonaktivitätskonzentrationen über ihre Percentile betrachtet. Anders als in einem Wahrscheinlichkeitsnetz ist die Wahrscheinlichkeit auf der Ordinate linear und nicht logarithmisch dargestellt. Die Abszisse (Radonkonzentration) dagegen besitzt eine logarithmische Skalierung.

In Abbildung 2.46 (S. 64) sind die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens der jeweiligen Radonkonzentration nach Etage - Kellergeschoss, Erdgeschoss und höherer Etage - getrennt dargestellt. Es ergibt sich die erwartete Verteilung, dass im Kellergeschoss höhere Radonkonzentrationen wahrscheinlicher sind als im Erdgeschoss und in den höheren Etagen tendenziell niedrigere Radonkonzentrationen als im Erdgeschoss erwartet werden können.

Nach Landkreisen und Etage betrachtet ergibt sich, dass höhere Radonkonzentrationen in Kellerräumen im Kreis Bad Kreuznach wahrscheinlicher sind als im Donnersbergkreis (Abb. 2.47, S. 64). Für die Erdgeschossräume und auch die Obergeschossräume ergibt sich ein wechselndes Bild. Im Konzentrationsbereich $>100 \text{ Bq/m}^3$ sind die Wahrscheinlichkeiten des Auftretens im Kreis Bad Kreuznach jeweils höher.

Im Diagramm der Abbildungen 2.48 werden die Radonkonzentrationen in den Erd- und Obergeschossräumen in Abhängigkeit vom Vorhandensein eines Kellergeschosses betrachtet. Dabei wird nach vollunterkellerten, teilweise unterkellerten und nicht unterkellerten Häusern unterschieden. Das Diagramm liefert ein erstaunlich klares Bild. Die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen im Erdgeschoss und im Obergeschoss ist in nicht unterkellerten Häusern höher als in den unterkellerten. Teilunterkellerte Häuser ähneln dabei eher den nicht unterkellerten.

Die Wahrscheinlichkeit relativ niedrigerer Radonkonzentrationen ist in dem vorliegenden Datensatz in Doppelhaushälften niedriger als in freistehenden Einfamilienhäusern (Abb. 2.49, S.65). Mit Ausnahme der höchsten Percentile sind etwas höhere Radonkonzentrationen in „sonstigen Häusern“ im unteren und mittleren

Abbildung 2.46

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen nach Etage

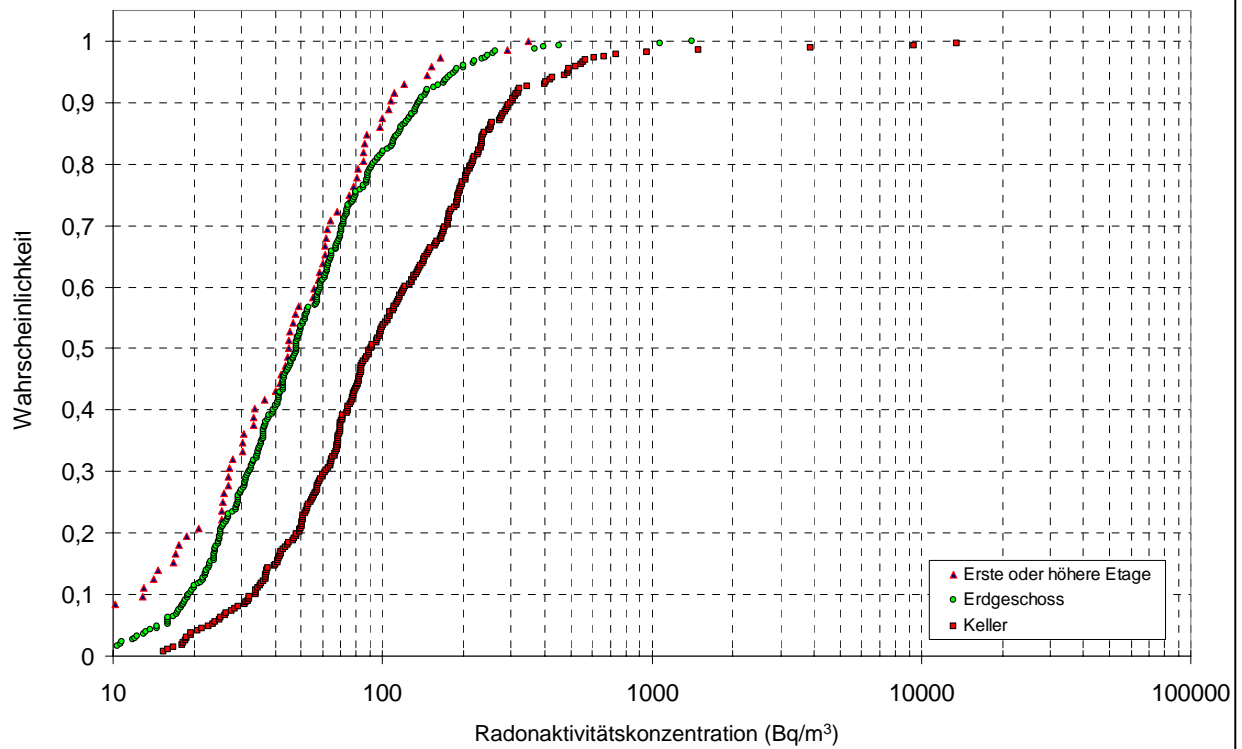


Abbildung 2.47

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen nach Etage und Landkreis

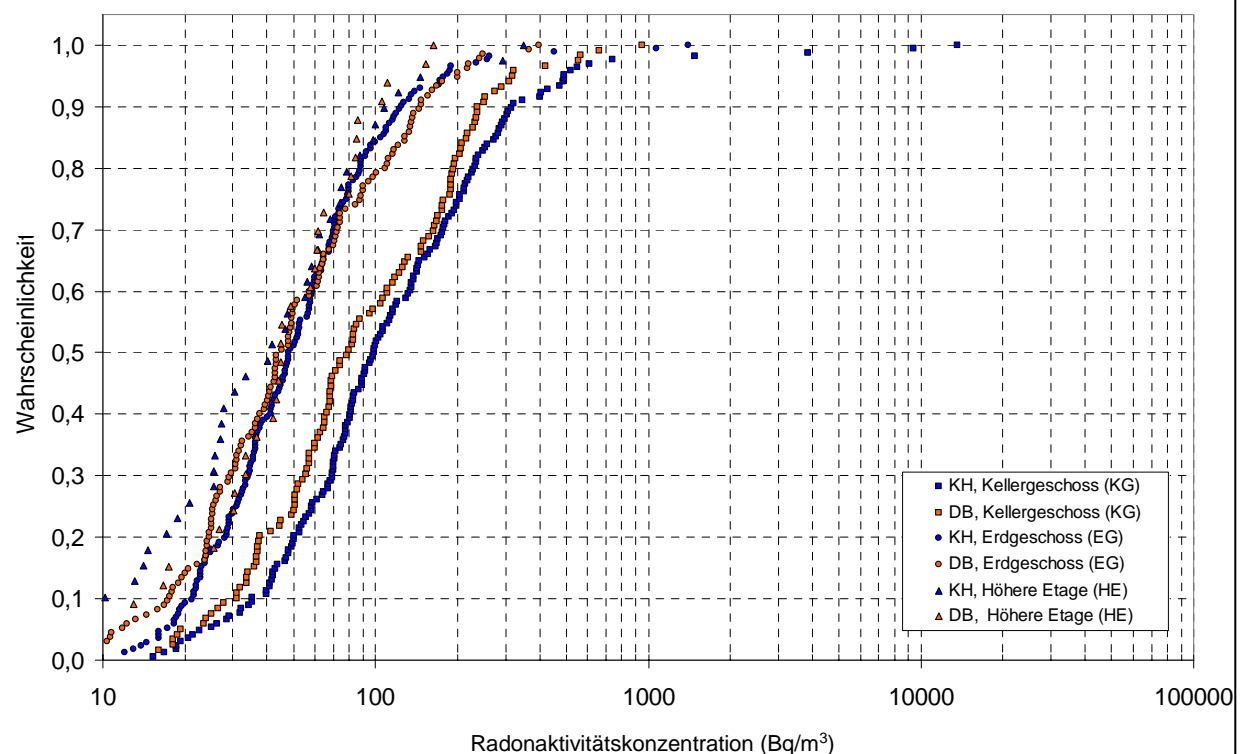


Abbildung 2.48

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Unterkellerung

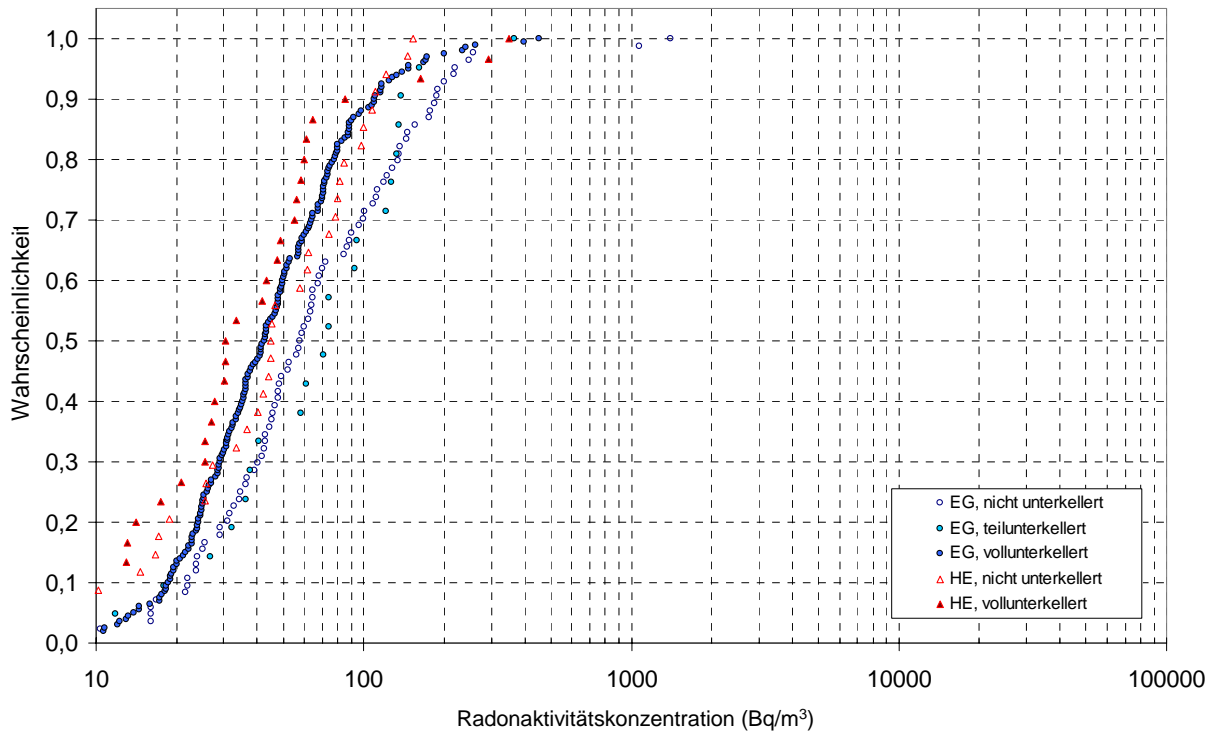


Abbildung 2.49

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen nach Haustypen

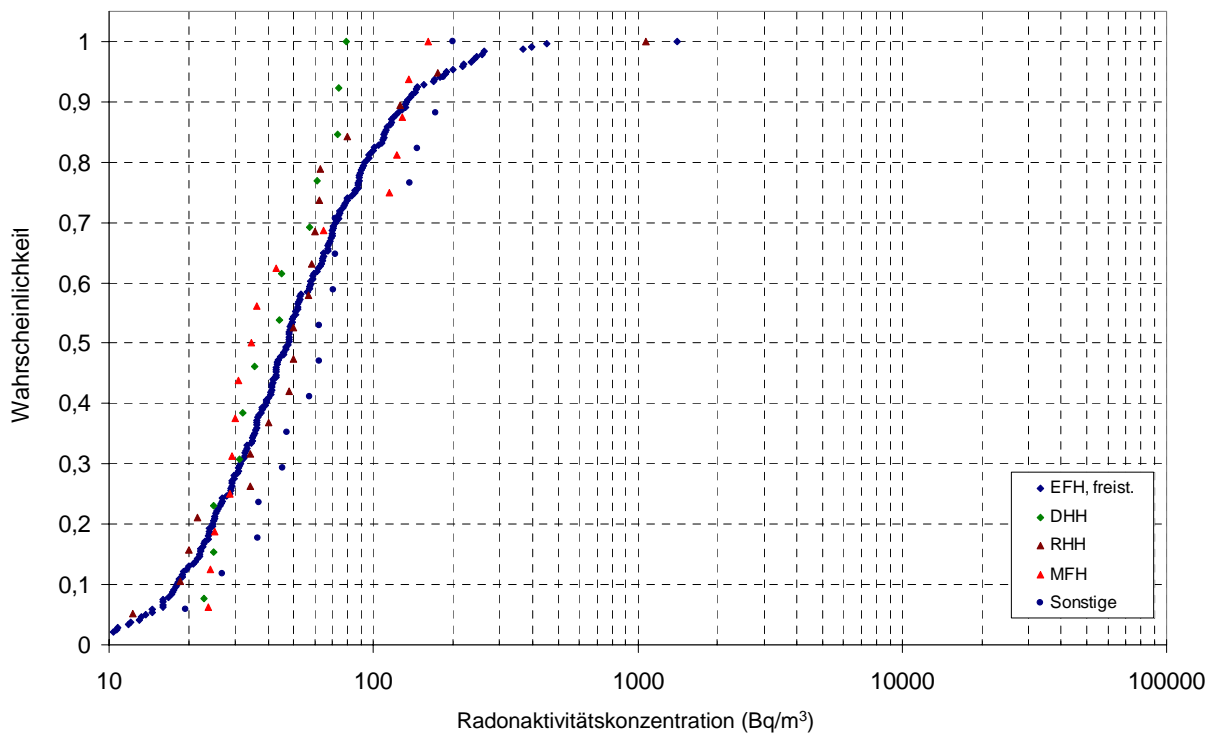


Abbildung 2.50

**Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen
in Erdgeschossräumen nach Baujahr**

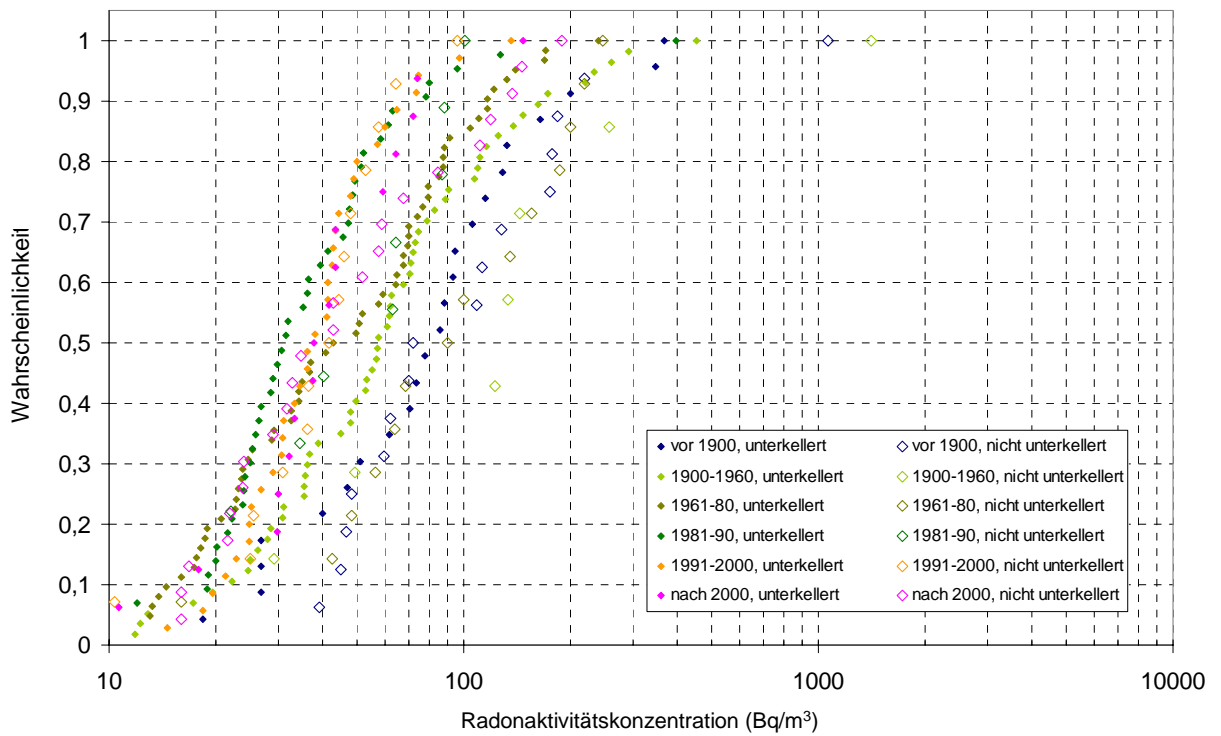
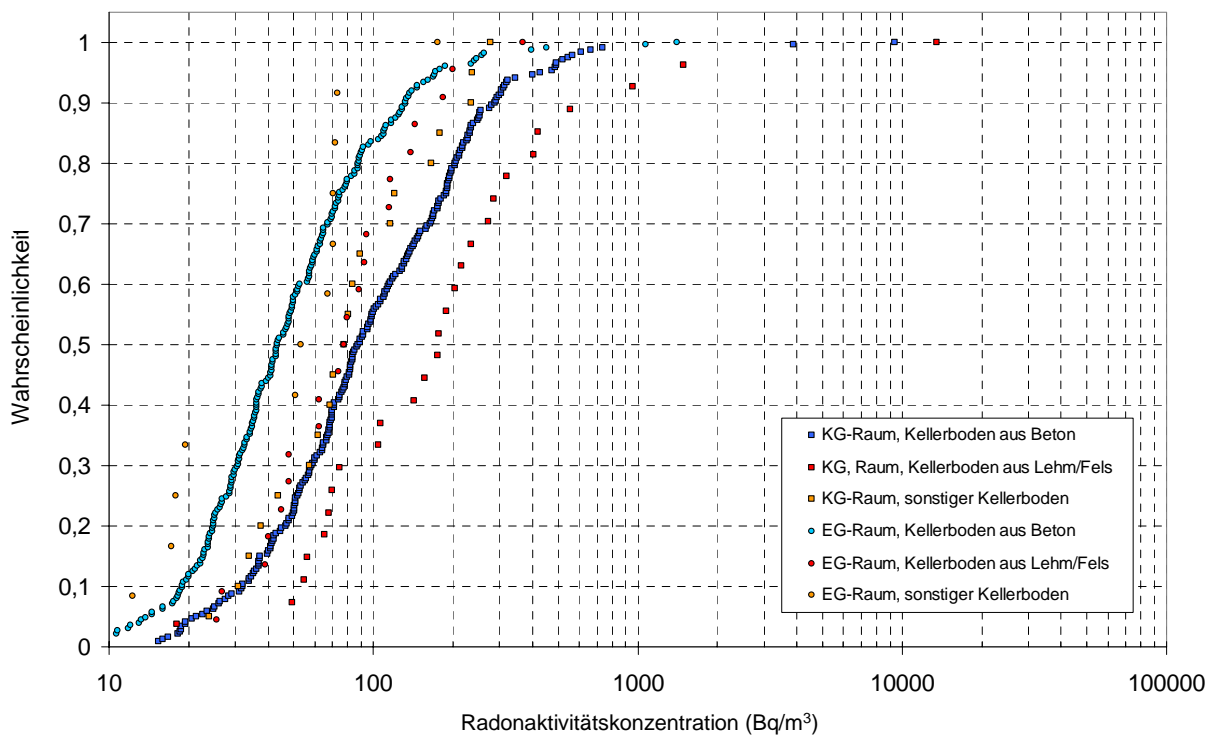


Abbildung 2.51

**Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen
und Material des Kellerbodens**



Konzentrationsbereich wahrscheinlicher, hohe Radonkonzentrationen über 200 Bq/m³ wurden aber nicht beobachtet.

Eine Betrachtung nach Baujahr des Hauses und der Wahrscheinlichkeit von niedrigeren oder höheren Radonkonzentration in Erdgeschossräumen erfolgt in Abbildung 2.50 (S.66). In Gruppen zusammengefasst wurden Erdgeschossräume in vor dem Jahr 1900 erbauten Häusern, zwischen 1900-1960, 1961-80, 81-90, 1991-2000 und nach 2000 bis 2010 erbauten Häusern.

Die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen ist in älterer Bausubstanz höher. Dies gilt vor allem auch für nicht unterkellerte bis 1980 errichtete Gebäude. Die Radonkonzentration im Erdgeschoss der zwischen 1900 und 1960 gebauten Häuser zeigt eine starke Abhängigkeit davon ob ein Keller vorhanden ist. Die unterkellerten Häuser nehmen eine intermediäre Position ein während die nicht unterkellerten zu ähnlich hohen oder sogar höheren Radonkonzentrationen tendieren wie die älteste Bausubstanz.

In den nach 1980 errichteten unterkellerten Häusern sowie in den nicht unterkellerten zwischen 1981 und 2000 gebauten Häusern ist die Wahrscheinlichkeit hoher Radonkonzentrationen durchweg geringer als in der älteren Bausubstanz. Nicht unterkellerte Erdgeschossräume der jüngsten, seit dem Jahr 2001 errichteten Häuser verzeichnen wieder eine deutliche Zunahme der Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen ähnlich wie in den zwischen den Jahren 1961 und 1980 gebauten nicht unterkellerten Gebäuden.

Die Beschaffenheit des Kellerbodens ist unterschieden in Betonplatte, Naturboden aus gestampftem Boden oder Fels und sonstige Böden. Erwartungsgemäß ist die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen in Kellerräumen mit Naturboden am höchsten (Abb. 2.51, S. 66). Erstaunlicherweise ergaben sich für die sonstigen Kellerböden (z.B. Ziegelböden) niedrigere Wahrscheinlichkeiten einer höheren und hohen Radonbelastung als für die Keller mit Betonboden

Die Verwendung von wasserdichtem Beton oder einer Weissen Wanne zur Gründung des Gebäudes ist in ihren Auswirkungen auf die Radonkonzentration in Abbildung 2.52 betrachtet. Die Verwendung von WU-Beton oder einer Ausführung als Weisse Wanne

Abbildung 2.52

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Gründungsausführung

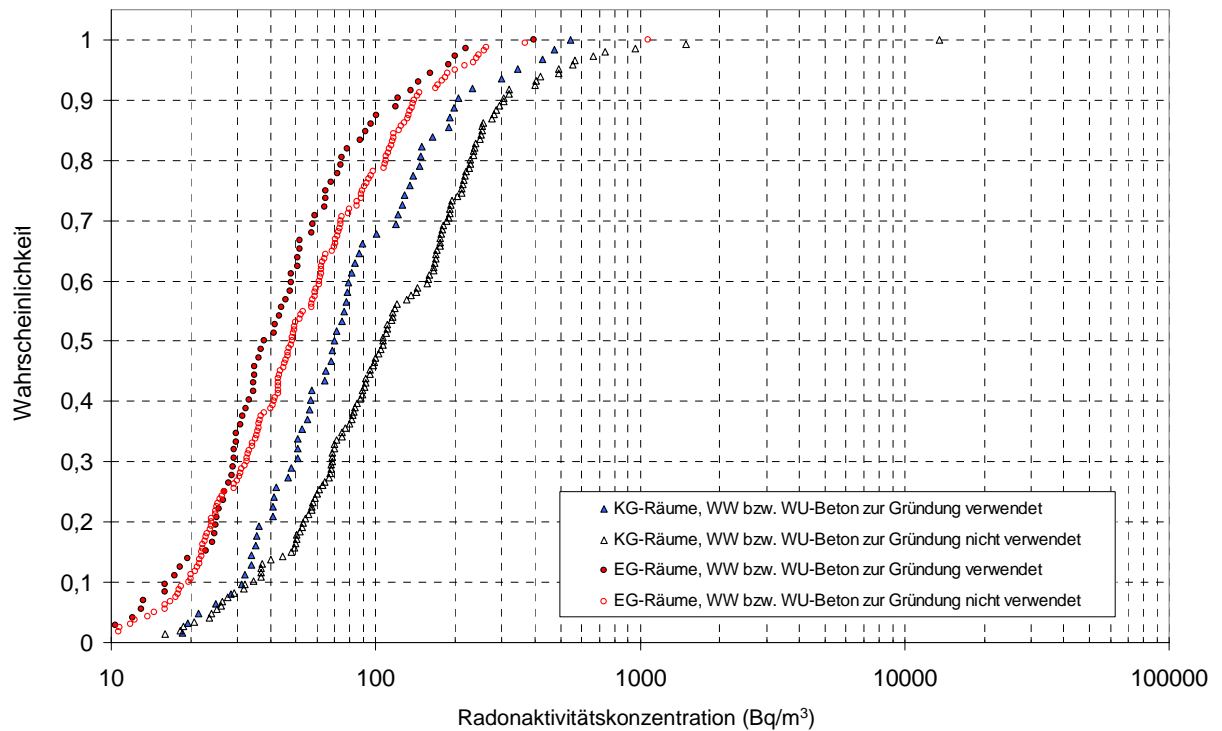


Abbildung 2.53

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Bodenplattendurchführungen

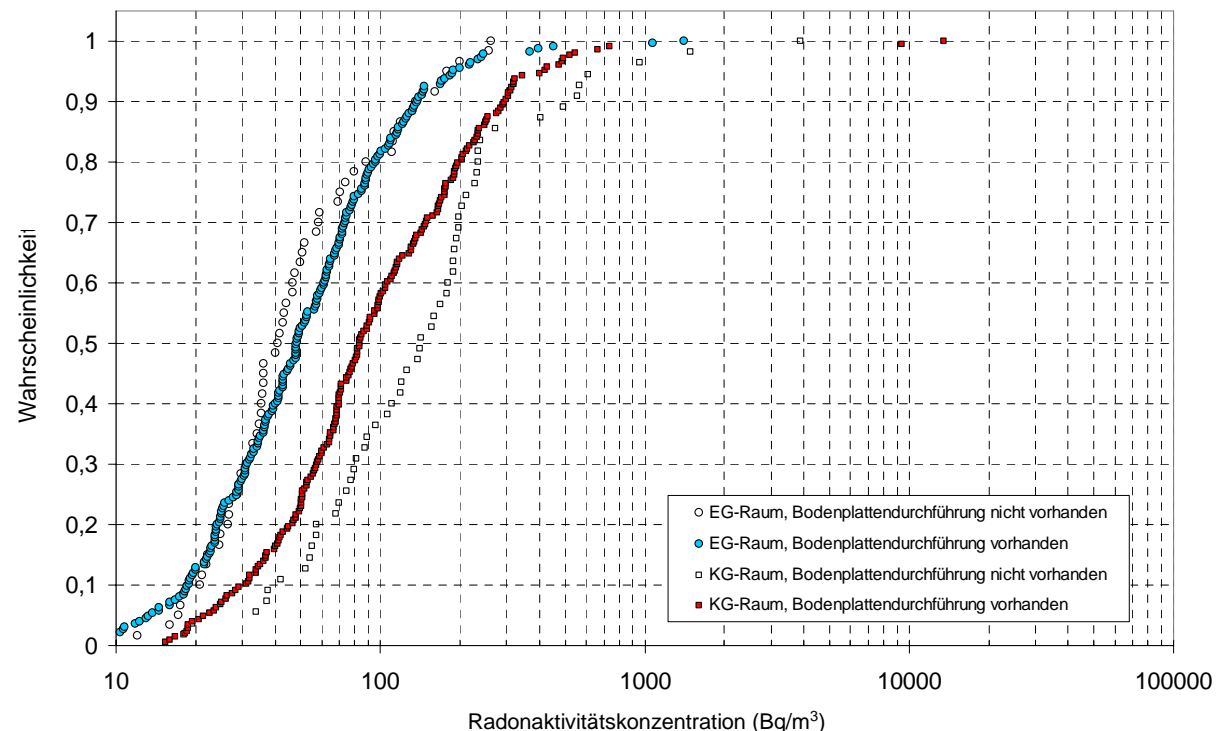


Abbildung 2.54

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Feuchteschutz der Kellerwände

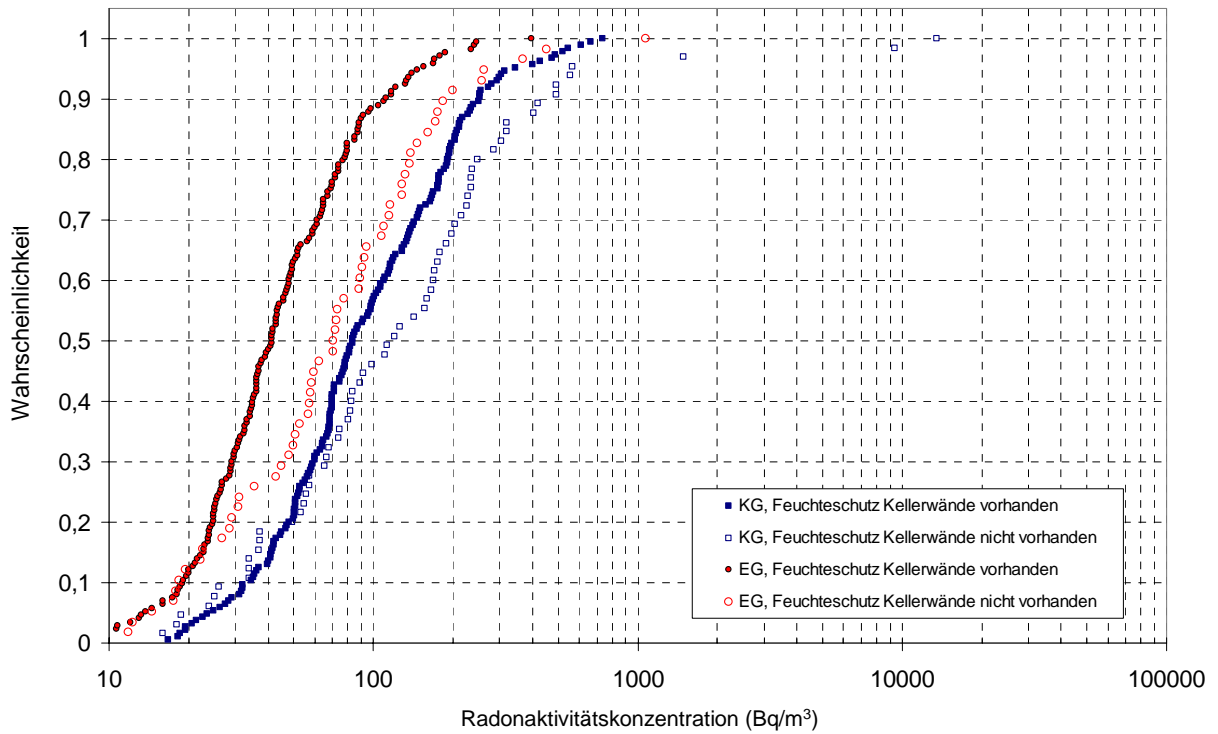
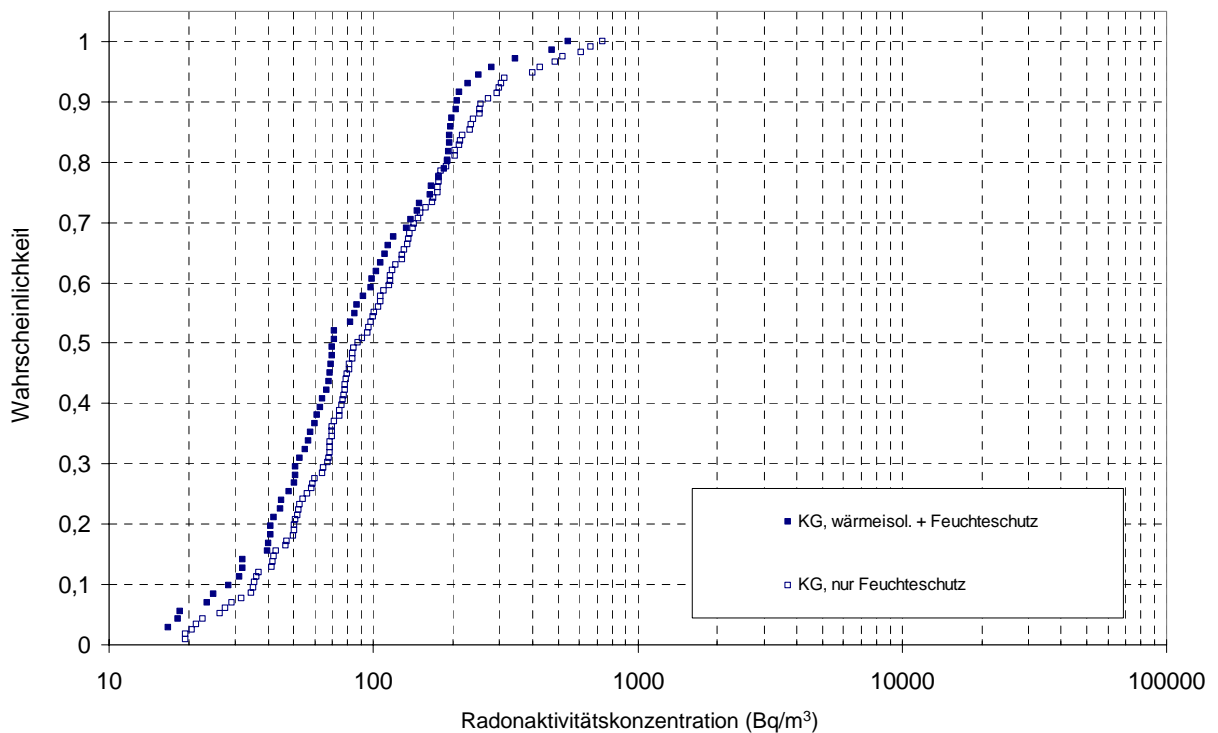


Abbildung 2.55

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Feuchte-/Wärmeschutz der Kellerwände



führt in den so gegründeten Gebäuden zu einer Erniedrigung der Wahrscheinlichkeit erhöhter Radonkonzentrationen im Vergleich zu Gebäuden in denen diese Art der Gründung nicht verwandt wurde. Die Erniedrigung wirkt sich am stärksten im Kellergeschoss aus, aber auch Erdgeschossräume profitieren davon im mittleren Konzentrationsbereich. Trotz Verwendung von WU-Beton oder Weisser Wanne werden aber in 10% der Gebäude im Kellergeschoss 200 Bq/m^3 überschritten.

Gemäß gemeinhin in Radonrisikogebieten mit hohen Radonkonzentrationen im Baugrund angewandten Bauempfehlungen, sollte auf die Durchführung von Rohren und Leitungen durch die Bodenplatte verzichtet werden oder diese zumindest radondicht abgedichtet werden. Vor diesem Hintergrund erstaunlich ist das diesbezügliche, in Abbildung 2.53 (S. 68) dargestellte Teilergebnis auf der Datenbasis dieser Studie. Die Wahrscheinlichkeit höherer Radonkonzentrationen im Keller ist mit Ausnahme der höchsten Percentile in Gebäuden ohne Durchführung durch die Bodenplatte höher als in Gebäuden mit einer Bodenplatte mit Durchführung. Eine Fortpflanzung bis in die Erdgeschossräume ist nicht zu beobachten. In Teilen, vor allem in den höchsten Percentilen, trifft dort die gängige Erwartung niedrigerer Radonkonzentrationen bei fehlen einer Durchführung durch die Bodenplatte zu.

Das Vorhandensein eines Feuchteschutzes der erdberührten Kellerwände gegen von außen angreifende Nässe ist nach Abbildung 2.54 (S.69) ein wirksames Mittel die Radonkonzentration im Keller und Erdgeschoss zu senken. Eine zusätzliche Wärmeisolierung der Kellerwände führt zu einer weiteren geringen Erniedrigung der Radonkonzentration (Abb. 2.55, S. 69).

Ohne Berücksichtigung ob ein Feuchteschutz besteht oder nicht, betrachtet Abbildung 2.56 (S. 71) die Auswirkungen der Existenz einer Wärmedämmung der Kellerwände. In wärmegeprägten Kellern können danach niedrigere Radonkonzentrationen erwartet werden als in nicht wärmegeprägten Kellern. In Erdgeschoßräumen deutet sich eine Erniedrigung nur in den höchsten Percentilen an.

Der Einfluß einer Wärmeisolierung der oberirdischen Hauswände ist mit dem Datensatz dieser Studie nicht belegbar (Abb. 2.57, S. 71) ebenso wie der interessantere Aspekt des Einflusses der Verwendung wärmeisolierter Verglasung. Letztere ist fast durchgängig vorhanden, so dass es an genügend Vergleichsobjekten ohne Isolierverglasung fehlt.

Abbildung 2.56

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen und Wärmeisolierung der Kellerwände

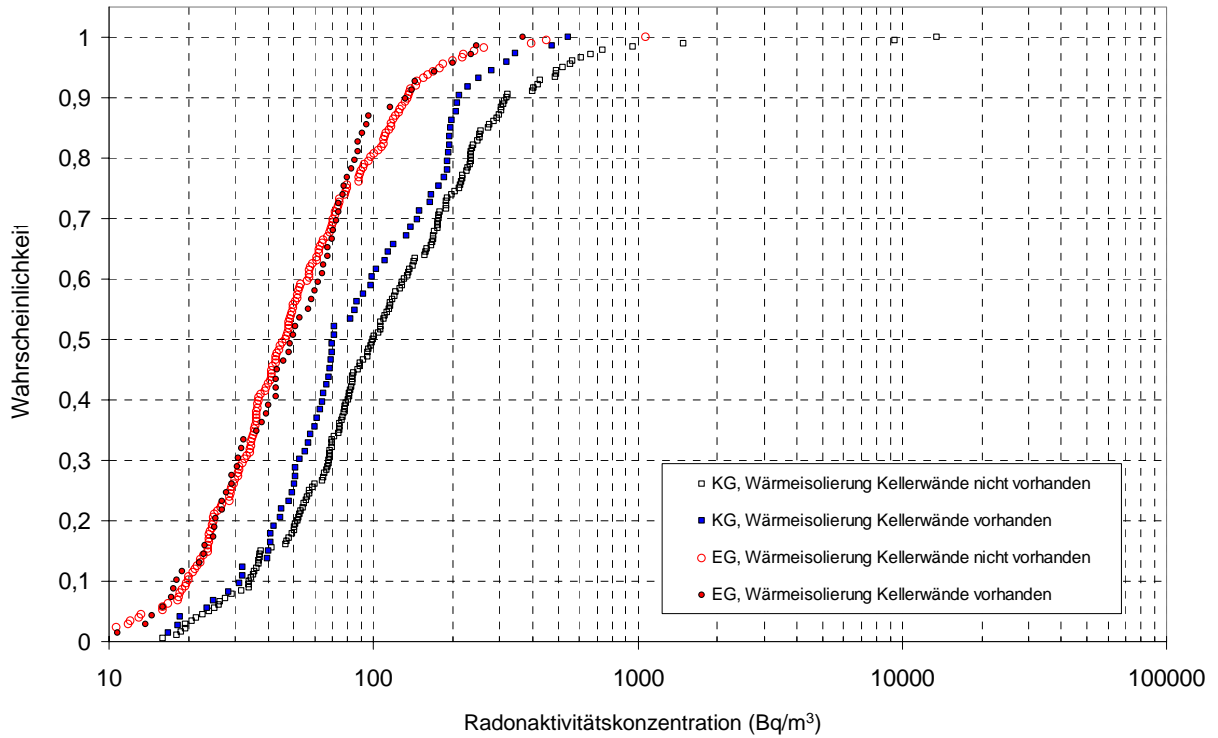
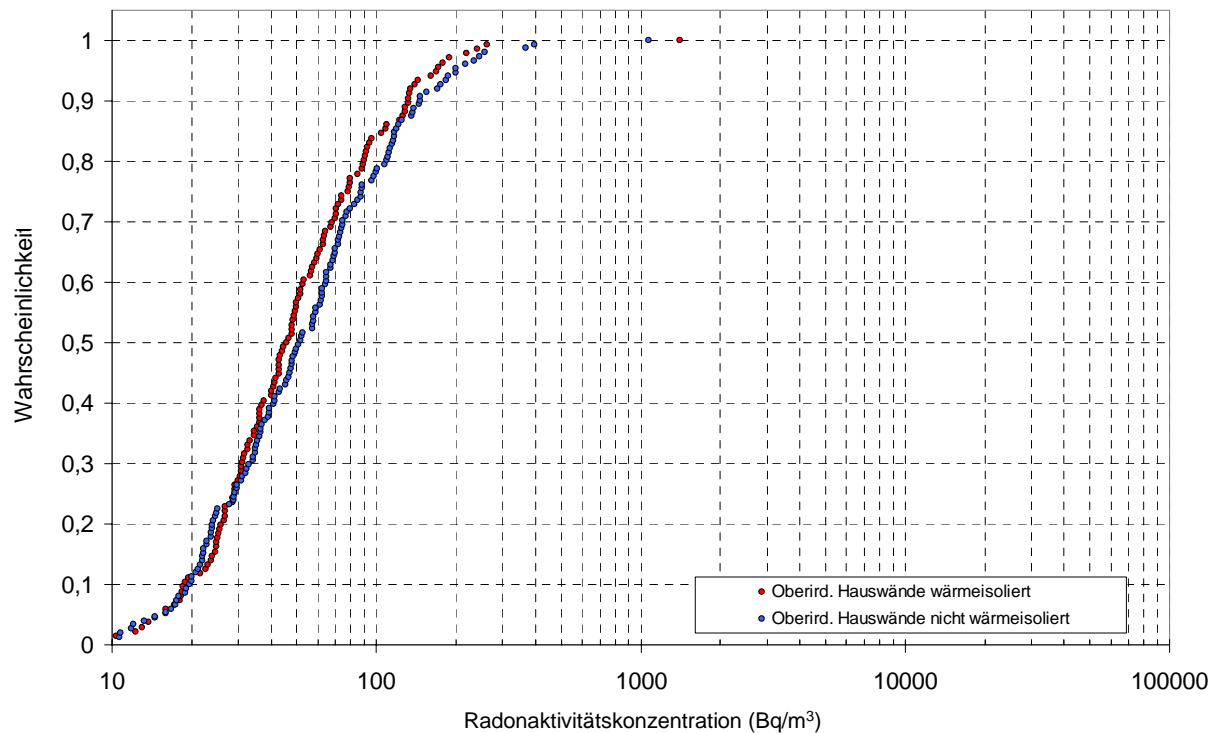
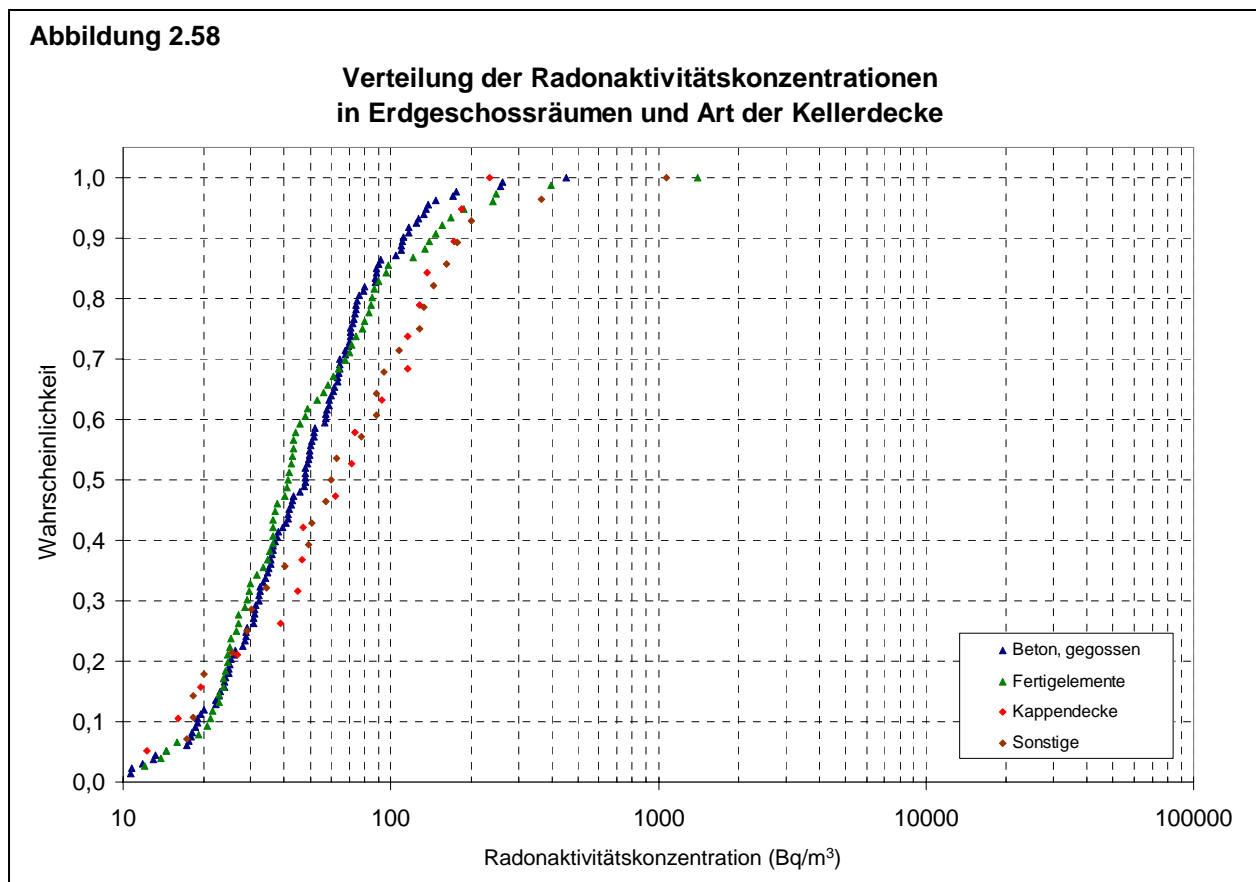


Abbildung 2.57

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen in Erdgeschossräumen und Wärmedämmung der oberirdischen Hauswände





In Gebäuden mit einer Kellerdecke aus gegossenem Beton oder aus Fertigelementen kann zum Teil eine geringere Radonbelastung in Erdgeschossräumen erwartet werden als in Gebäuden mit einer Kappendecke (gemauertes Gewölbe) oder einer sonstigen Kellerdecke (Abb. 2.58).

2.4 Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Radonkonzentrationen in Abhängigkeit vom Gebäudestandort

Die geologischen und pedologischen Gegebenheiten haben neben der Bausubstanz den größten Einfluß auf die Radonkonzentration in einem Gebäude. Die naturräumlichen Faktoren werden in diesem Kapitel betrachtet.

2.4.1 Topografische Lage

Die topografische Lage der studienteilnehmenden Häuser wurde unterschieden in Kuppe, Oberhang, Mittelhang, Unterhang und Lage am Talboden. Die Auswertung dieser Erhebung ist in Abbildung 2.59 (S. 73) dargestellt.

Abbildung 2.59

Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen nach topografischer Lage

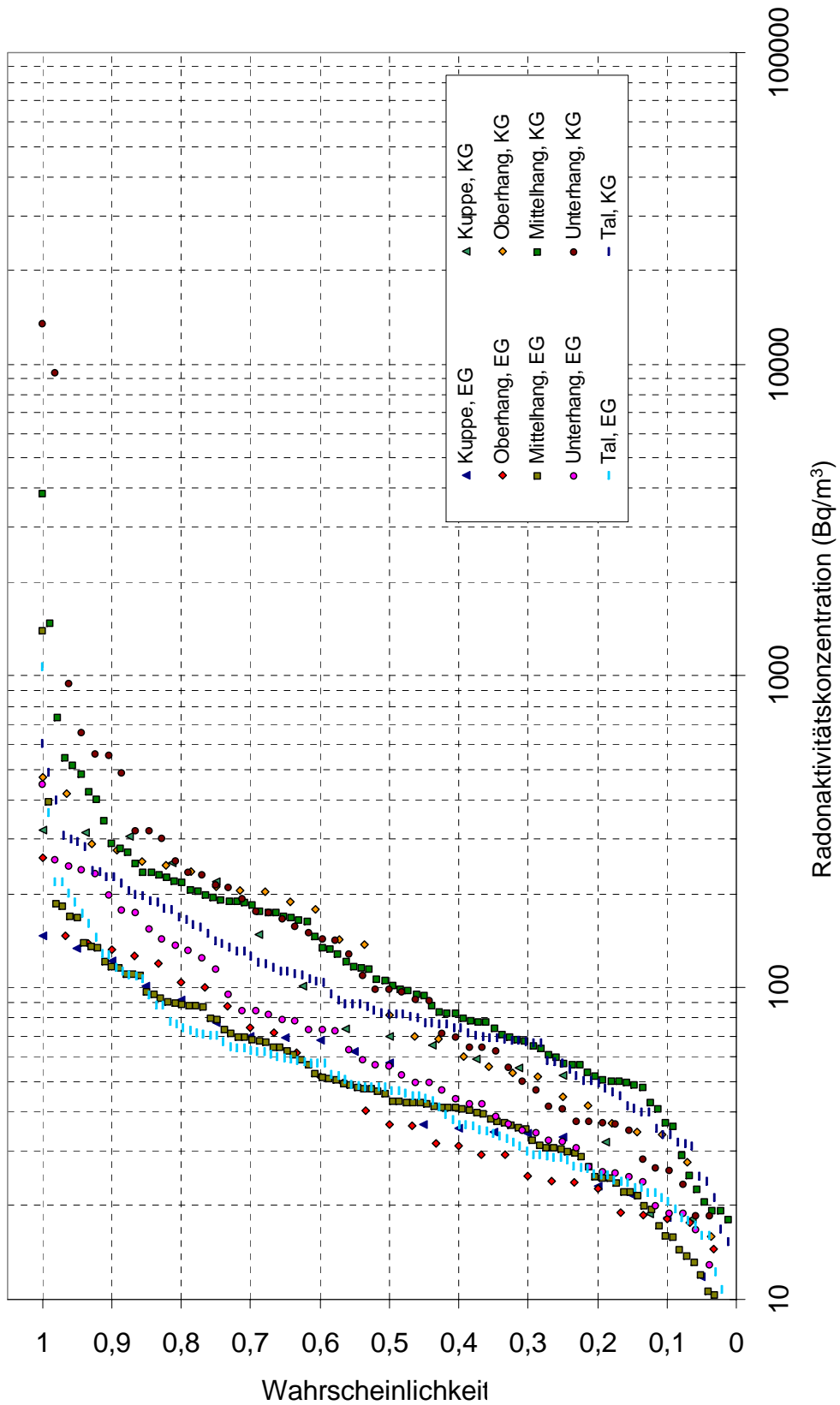


Abbildung 2.59 Verteilung der Radonaktivitätskonzentrationen in der Raumluft nach topografischer Lage.

Im Kellergeschoss können oberhalb des Medianwertes in Tallagen vergleichsweise geringere Radonkonzentrationen erwartet werden als in Hanglagen. Von den Kellern in Hanglage ist oberhalb des 80. Perzentils die Radonsituation in Gebäuden am Unterhang am ungünstigsten. Diese Beobachtung trifft oberhalb des 70. Perzentils, teilweise schon ab dem 40. Perzentil, auch auf Erdgeschossräume in Unterhanglage zu. Ein positiver Effekt einer Tallage ist in den Erdgeschossräumen aber nicht mehr erkennbar.

2.4.2 Geologischer Untergrund

In den nachfolgenden Abbildungen werden Gesteine zu stratigraphischen Einheiten zusammengefaßt. Die jüngsten (quartären), nicht konsolidierten Lockergesteine werden nach genetischen Kriterien getrennt betrachtet. Sie überlagern oft nur als dünne Auflagen die älteren Festgesteine.

Eine detaillierte Beschreibung der Geologie und ihrer Besonderheiten im Hinblick auf das Radonpotenzial des Projektgebietes und angrenzender Gebiete findet sich in Rein et al. 2013a. Der geologisch interessierte Leser ist gebeten diesen Forschungsbericht hinzuzuziehen.

2.4.2.1 Herkunft der Radonmutternuklide

Zum besseren Verständnis des in unterschiedlichen Mengen in unterschiedlichen Gesteinen und Böden vorkommenden Radons werden in diesem Kapitel die Gesteine und Prozesse allgemein beschrieben, die das erhöhte Radonpotenzial einzelner Schichtglieder im Saar-Nahe-Bergland (und darüber hinaus im Untergrund im Saar-Nahe-Becken) verursacht. Eine umfangreiche Darstellung zu diesem Thema findet sich in dem Bericht zum Radonpotenzial des Saar-Nahe-Berglandes (Rein et al. 2013a).

Die vulkanischen und subvulkanischen Gesteine sind die primäre Quelle für die Radonmutternuklide des Radon.

Auffällige Landschaftselemente im Saar Nahe-Berglandes stellen die Rhyolithmassive des Donnersberges, des Kuhkopfes, des Bauwaldes und Lemberges, des Potzberges und anderer aber ganz besonders des Kreuznacher Intrusivs/Massivs dar.

Diese Rhyolithe sind neben den rhyolithischen Tuffen und älteren Tuffen der Glan-Subgruppe aus Förderschloten außerhalb des Saar-Nahe-Beckens, die primären Quellen für die Radonvorläufer. Dies gilt nicht nur für die zeitlich nachfolgenden Sedimente, die z.T. aus dem Verwitterungsschutt der Rhyolithmassive bestehen, sondern auch für tiefere, bereits vor der Platznahme der Rhyolithe/Tuffe abgelagerte Schichten die von Verwitterungslösungen durchsickert werden.

Die Anreicherung von Radonvorläufernukliden begann mit den ersten noch im Untergrund stattfindenden vulkanischen Aktivitäten, lange vor Freilegung der Rhyolithe und setzt sich bis heute über Lösung und Ausfällung von radioaktiven Elementen aus wässrigen (Verwitterungs-)Lösungen fort.

Als primäre Quellen für die Uranvererzungen wird vor allem die Zirkulation von hydrothermalen Lösungen im Umfeld der sauren Vulkanite und vulkanischer Intrusionen identifiziert. Aufgrund seines ungünstigen (großen) Ionenradius wird das Uran nur in geringem Masse in die vulkanischen Minerale eingebaut. Es reichert sich stattdessen in den Restfluiden an, die vom Intrusionskörper ausgehend in das umliegende Gestein wandern. So erfolgte auch die Impägnierung und die Gangvererzung von Uran in den umgebenden Sedimenten und in den basaltisch-andesitischen Vulkaniten, die häufig in enger Nachbarschaft zu den rhyolithischen Intrusionen entstanden. Wegen des häufigen Vorkommens von Uranvererzungen in diesen basaltisch-andesitischen Gesteinen, mit höheren Uran- bzw. γ - und α -Zählraten als in den Rhyolithen selbst (Rein et al. 2006) wurden diese früher fälschlicherweise als deren Quelle angenommen. Die höchsten im Land gemessenen Urankonzentrationen finden sich im Umfeld der Rhyolithintrusionen und Tuffe. Am Tivoli (Basalt) bei Winnweiler wurden Uranerzbänder mit 24-30% Urangehalt (240.000-300.000 ppm) durch die Uranprospektion aufgefunden.

Höhere Urankonzentrationen und auch höhere Radonaktivitätskonzentrationen als in den Rhyolithen oder rhyolithischen Tuffen selbst wurden in sedimentären Gesteine in deren Nachbarschaft nachgewiesen. Diese sind durch Aufkonzentrierung durch Fällung aus der wässrigen Lösung in reduzierendem Milieu entstanden, so z.B. in den sogenannten Schwarzpelitbänken und Kohleflözchen, wo z.T. Radonaktivitätskonzentrationen bis über 6000 kBqm^{-3} ermittelt wurden.

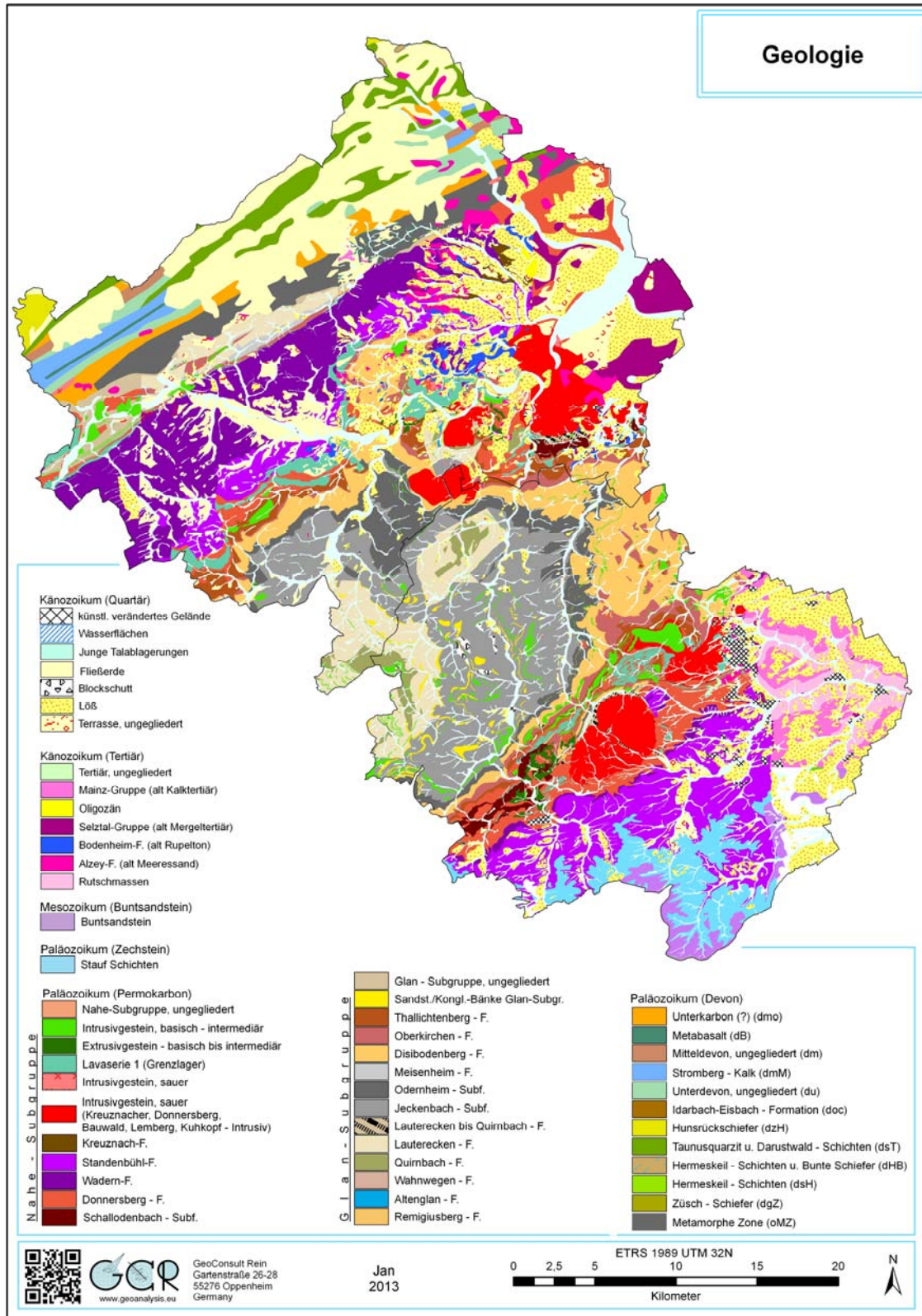


Abbildung 2.60 Ausschnitt aus der geologischen Karte, die Grundlage der Radonpotenzialanalyse (Rein 2013) des Saar-Nahe-Berglandes war.

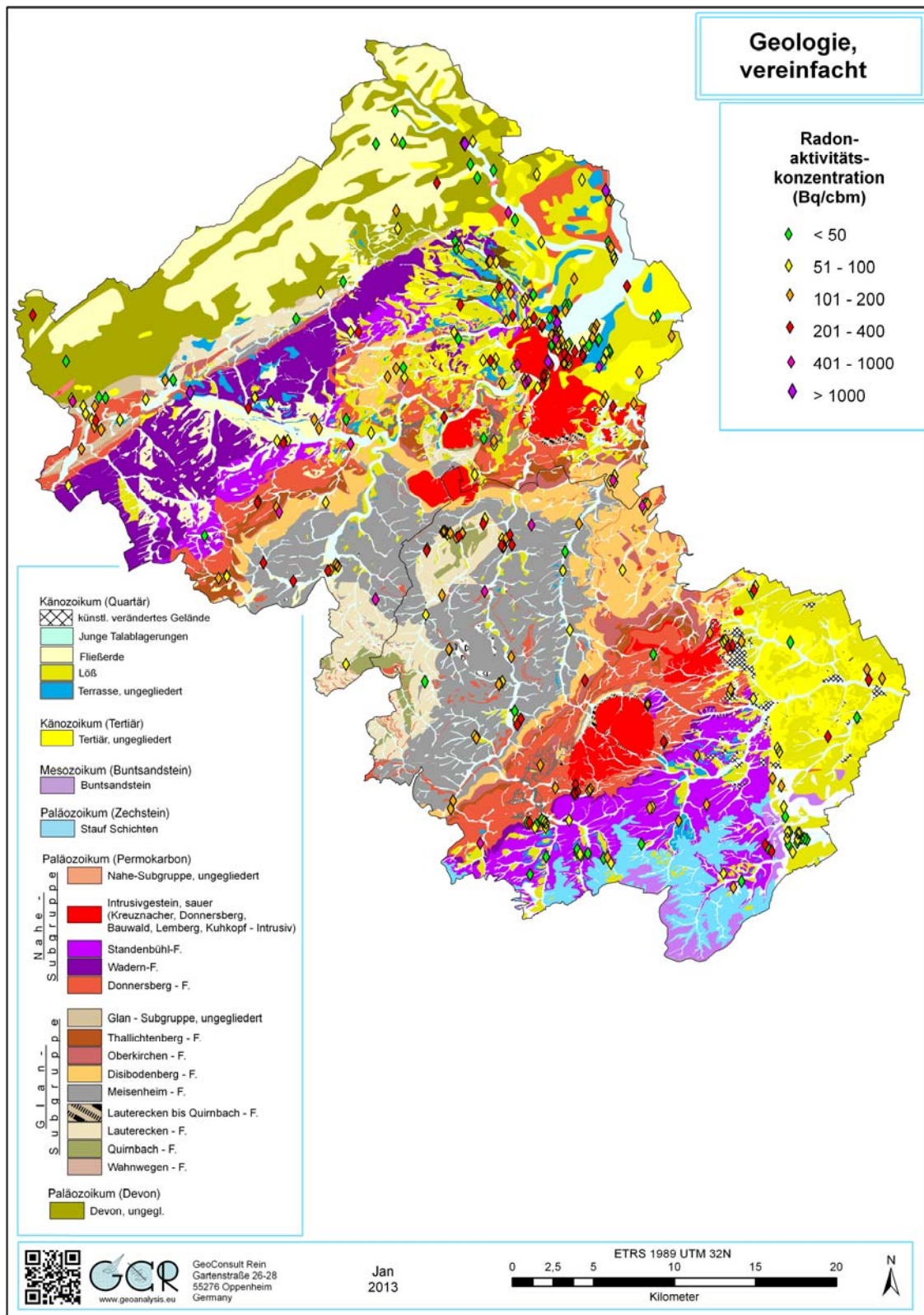


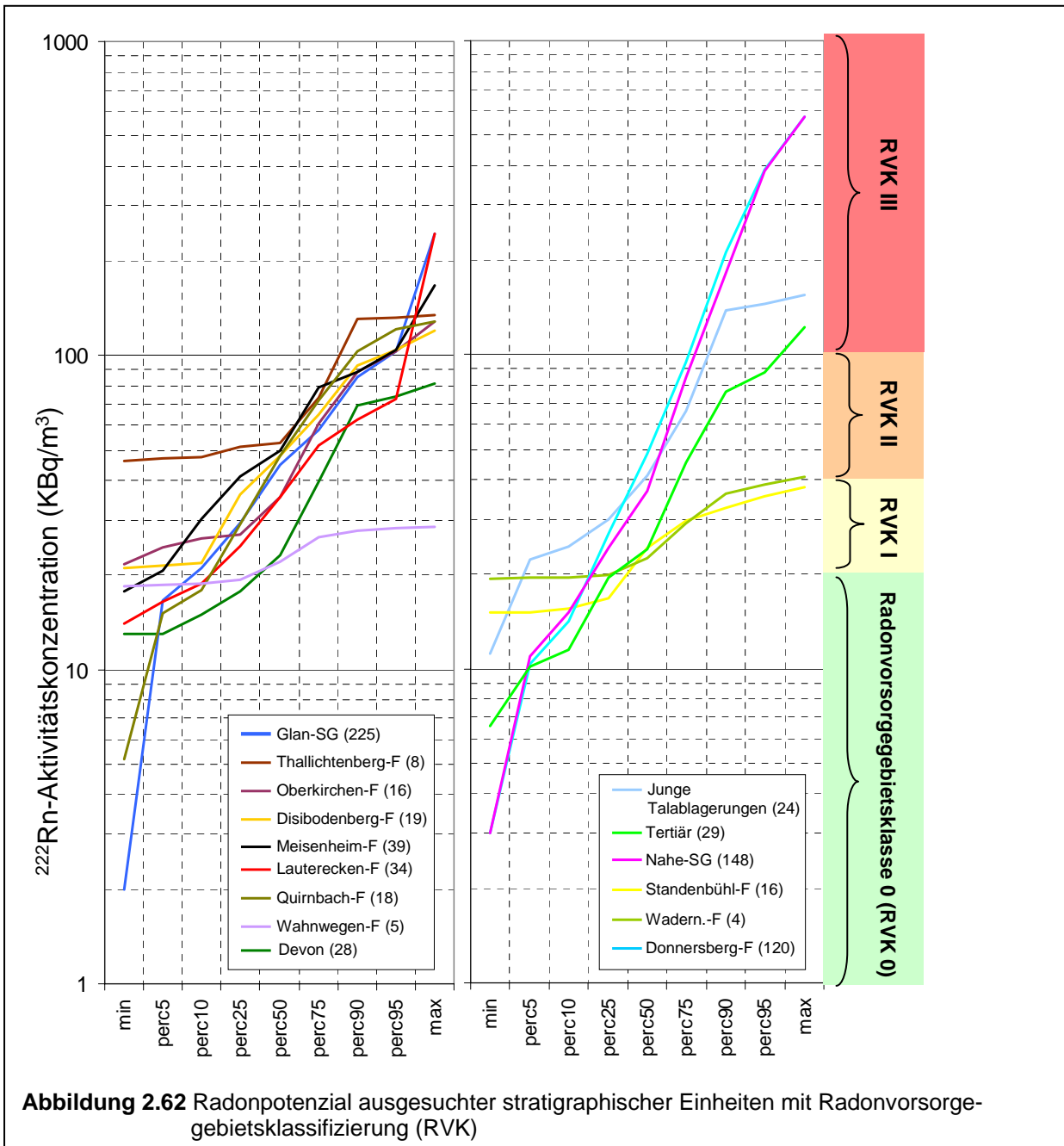
Abbildung 2.61 Vereinfachte geologische Karte mit Raumluft radonkonzentrationen.

Die Glan-Subgruppe, der untere Abschnitt des Rotliegenden, umfasst einen Zeitabschnitt in der Entwicklungsgeschichte des Saar-Nahe-Beckens, der von einem mehrfachen Wechsel zwischen von Flüssen und Seen gebildeten Sedimenten geprägt ist. Die einzelnen Seen erreichten Größen bis 30 - 50 km Durchmesser und waren z.T. 50 und mehr Meter tief. Dadurch konnten sich am Seeboden, von der windinduzierten Wasserzirkulation ausgeschlossen, austauscharme Wassermassen bilden. In der sogenannten Sauerstoffminimumzone am tieferen Seeboden war damit keine dauerhafte Besiedlung mit Bodenwühlern und Fischen möglich. Organische Reste wurden akkumuliert, nur vermindert mineralisiert und es bildeten sich an organischem Kohlenstoff reiche feinkörnige Sedimente. Diese sogenannten Schwarzpelite können ein bis mehrere Meter mächtig werden und als Reduktionsfallen für das in Lösung absteigende sechswertige Uran wirksam werden und bedeutende Urananreicherungshorizonte darstellen können.

Vor allem die älteren Gesteine der Glangruppe bis zum Ende der Odernheim Subformation beherbergen zahlreiche solcher organisch reichen Seehorizonte. Vulkanische Tuffe finden sich vor allem in den mittleren und höheren Teilen der Meisenheimformation. Auch in der Nahe Sugruppe sind uranreiche Gesteinshorizonte ähnlicher Genese bekannt. Herausragendes Beispiel ist ein aus organisch reichen Seesedimenten entstandenes Kohleflözchen unter dem rhyolithischen „Tuff3“. Die aus dem Tuff3 ausgewaschenen radioaktiven Elemente wurden durch Reduktion im Kohleflöz immobilisiert und angereichert. Diese Situation und Ihre Auswirkungen auf die Radonaktivitätskonzentration in diesen Horizonten und darüber lagernder Gesteinsschichten wurde bereits früher (Rein 2008) intensiv untersucht.

2.4.2.2. Radonpotenzial der Gesteine im Projektgebiet

Die Abbildung 2.62 zeigt das Radonpotenzial der Gesteine von ausgesuchten stratigraphischen Einheiten in vereinfachter Form als Perzentildiagramme. Für eine vollständige Darstellung ist auf Rein (2013) verwiesen. Die in diesen Gesteinen als Perzentile dargestellten Radonpotenziale berücksichtigen nicht die (sonderfaziellen) Schwarzpelite und Tuffe, die in der Regel geringmächtig sind, geringe Flächenanteile einnehmen, aber z.T. sehr hohe Radonkonzentrationen von mehreren hundert bis mehreren tausend Kilobecquerel (1000 Kilobecquerel = 1000000Bq/m^3) besitzen.



Die hier dargestellten Radonpotenziale sind die der „Normal“-Gesteine (s. Rein 2013). In allen Gesteinen wurden auch oder überwiegend Radonkonzentrationen gemessen, die Radonvorsorgemaßnahmen beim Bauen, wenn auch in unterschiedlichen Umfang, erforderlich machen. Dabei kann vielfach, je nach lokaler Ausprägung der Gesteine, auch die Radonvorsorgeklasse III erreicht werden.

2.4.2.3. Radonaktivitätskonzentrationen in Häusern nach Geologie

Die im Projektgebiet relativ weit verbreiteten Gesteine der Meisenheim-Formation und der Donnersberg Formation sind auch mit vergleichsweise vielen Häusern in der Studie vertreten (Abb. 2.61, S. 77). In Häusern über diesen Gesteinen und über der Lauterecken Formation ist die Wahrscheinlichkeit höhere und hohe Radonkonzentrationen in den Häusern anzutreffen höher als für andere stratigraphische Einheiten. Maximalwerte über 100 Bq/m^3 oder von mehreren hundert Bq/m^3 sind aber aus Häusern über allen im Projektgebiet vorkommender Gesteine bekannt (Abb. 2.63).

In Kartenform ist das Radonpotenzial über die Perzentile für die beiden Kreisgebiete in den Abbildungen 2.63 bis 2.70 dargestellt (Methodik s. Rein 2013). Diese Karten belegen die Bedeutung von Baugrunduntersuchungen hinsichtlich Radon, weil innerhalb der gleichen geologischen Einheiten in Abhängigkeit von den am Bauplatz angetroffenen Verhältnissen (lokale Ausprägung der Gesteine, tektonische Störungen) Radonaktivitätskonzentrationen kleinräumig wechseln können, so dass u. U. keine oder aber sehr unterschiedliche Maßnahmen beim Bauen zu treffen sind. Die Radonpotenzialkarten ersetzen nicht diese individuellen Untersuchungen von Baugebieten oder einzelnen Bauplätzen. Die Radonpotenzialkarten zeigen aber, wo ein Risiko u.U. mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit besteht.

Das Auftreten von hohen Radon-Raumluftkonzentrationen in Gebäuden in Gebieten vergleichsweise geringen Radonpotenzials (Abb. 2.63-70) belegt neben den Abbildungen 2.46 bis 2.58 die Bedeutung der Bauweise und des Bauzustandes.

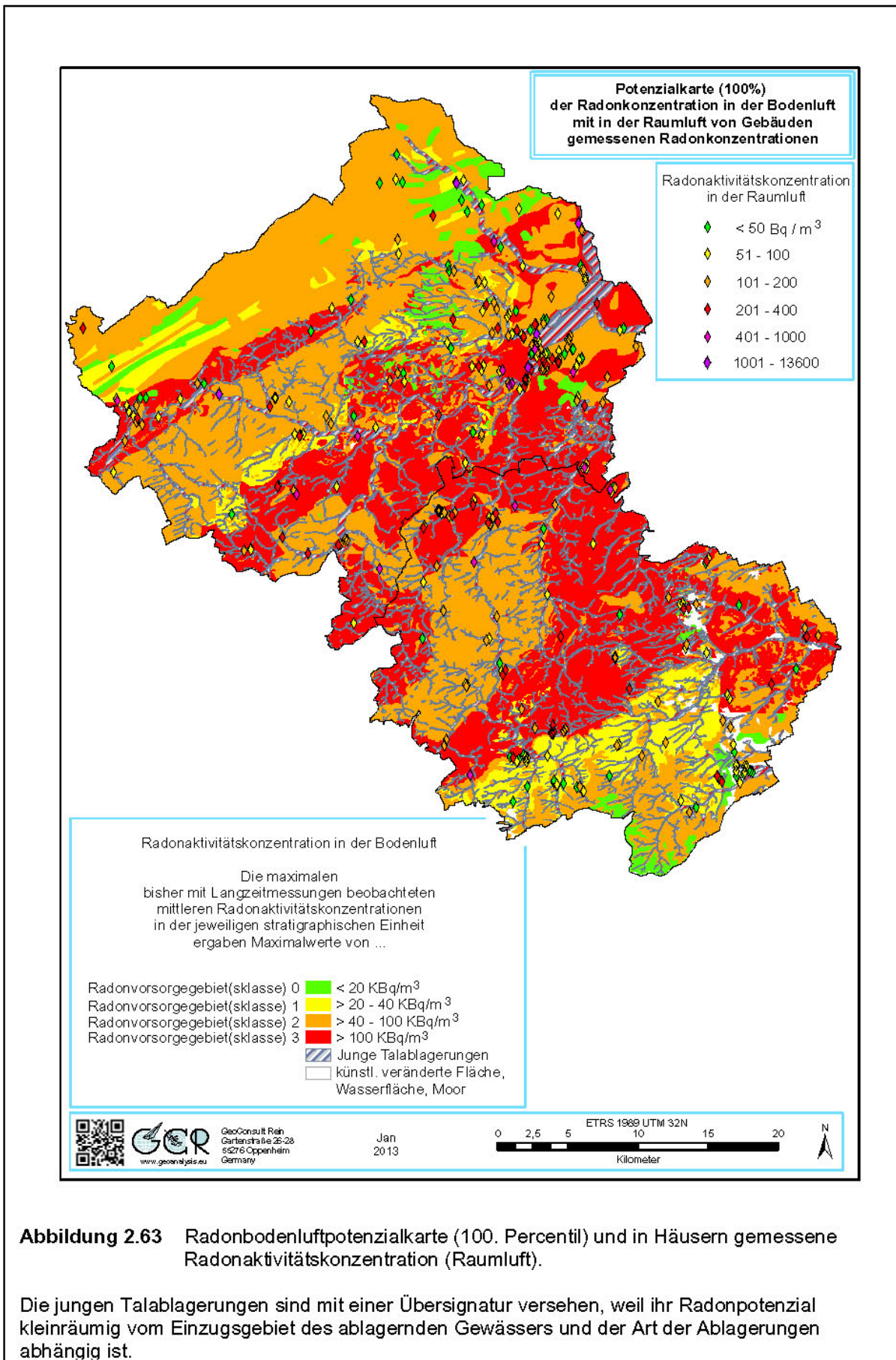


Abbildung 2.63 Radonbodenluftpotenzialkarte (100. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

Die jungen Talablagerungen sind mit einer Übersignatur versehen, weil ihr Radonpotenzial kleinräumig vom Einzugsgebiet des ablagernden Gewässers und der Art der Ablagerungen abhängig ist.

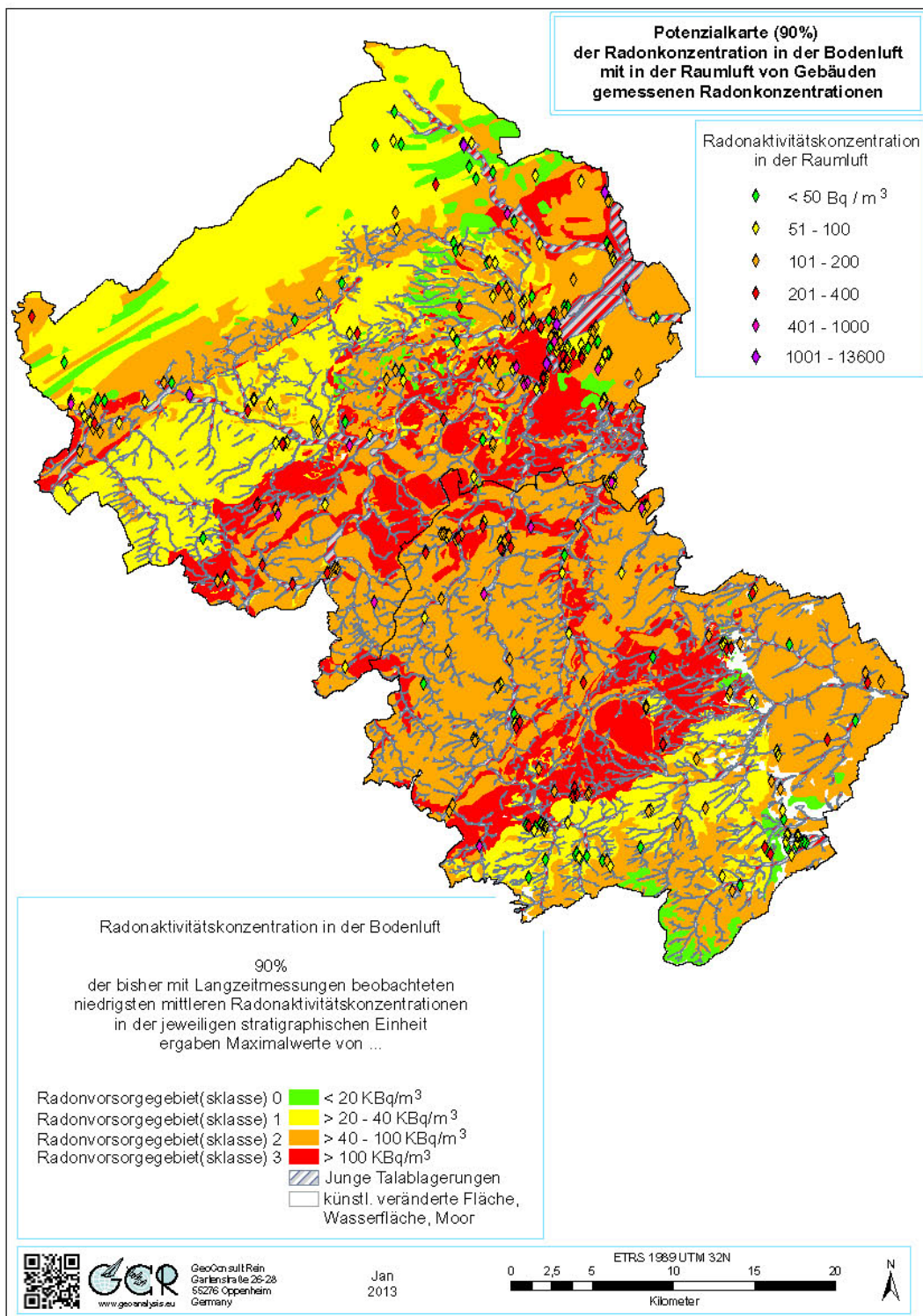


Abbildung 2.64 Radonbodenluftpotenzialkarte (90. Perzentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

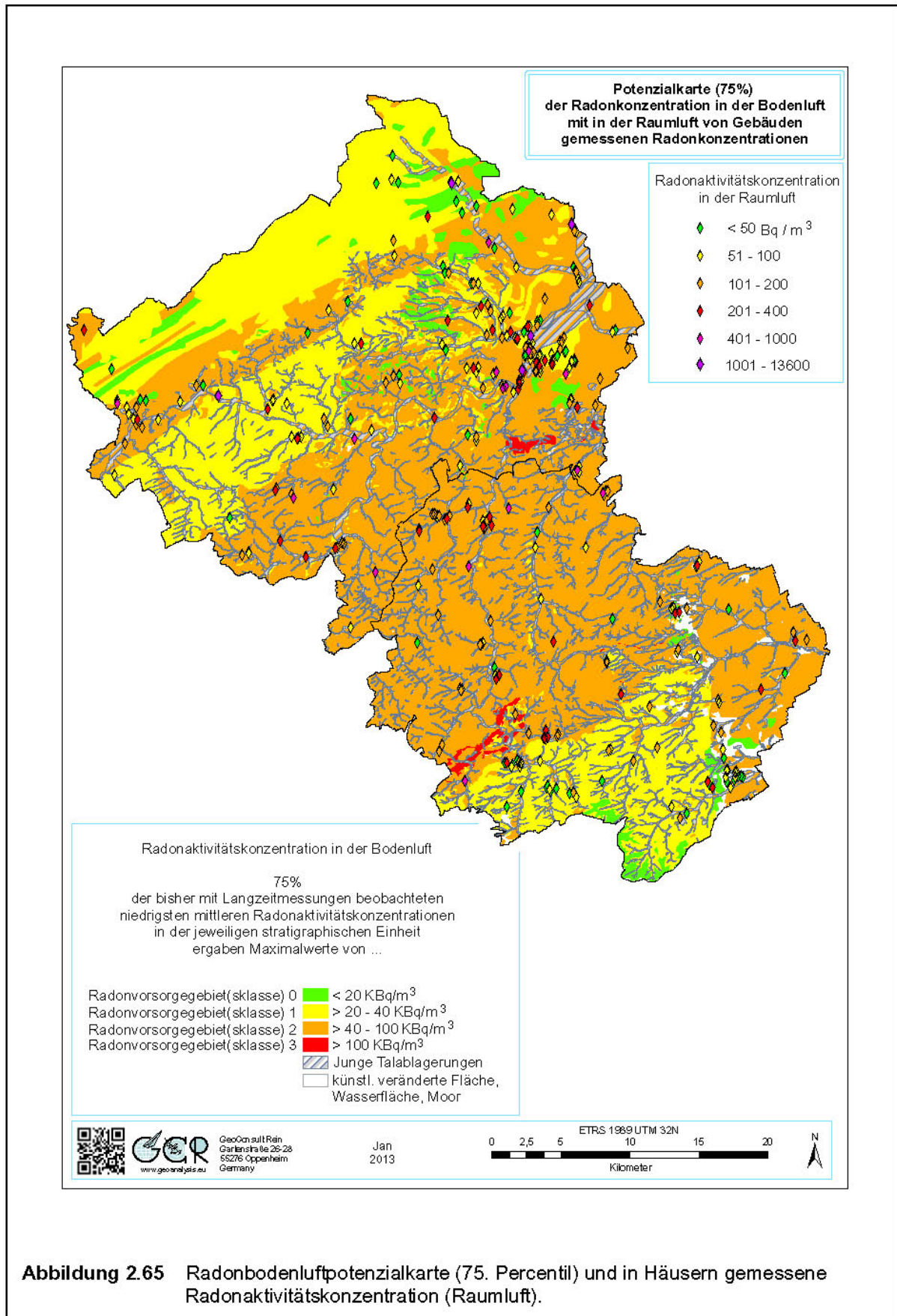


Abbildung 2.65 Radonbodenluftpotenzialkarte (75. Perzentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

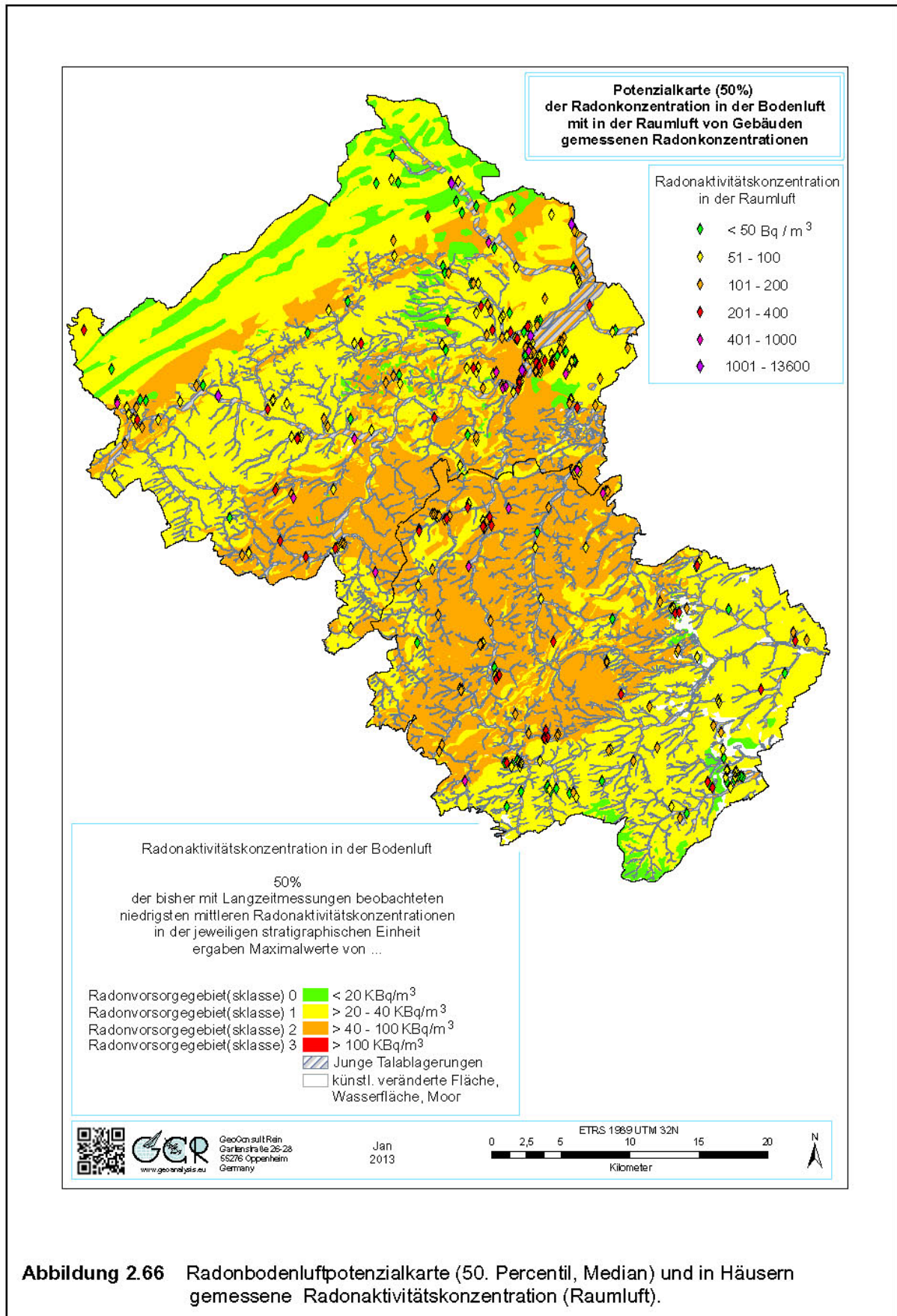


Abbildung 2.66 Radonbodenluftpotenzialkarte (50. Perzentil, Median) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

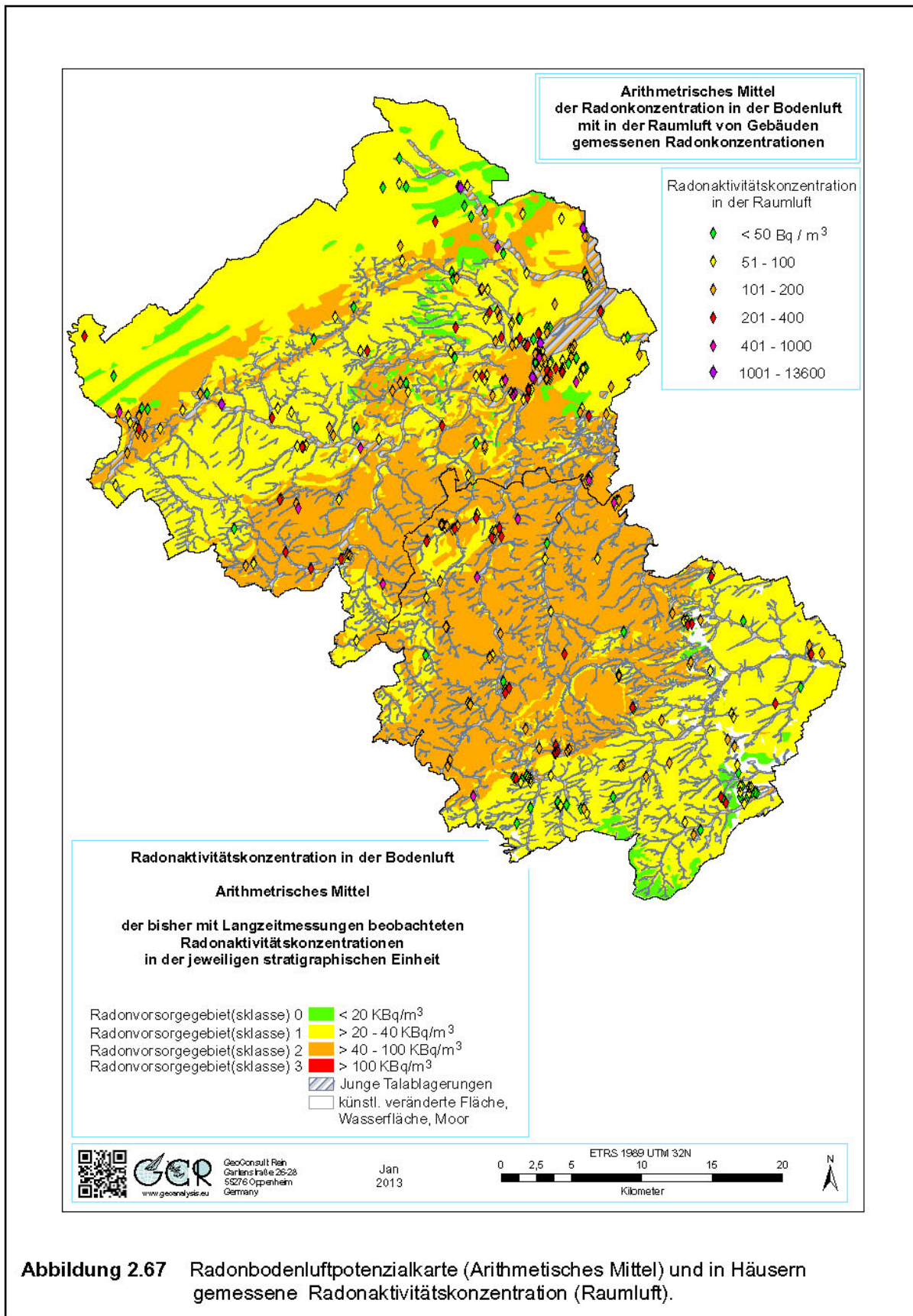


Abbildung 2.67 Radonbodenluftpotenzialkarte (Arithmetisches Mittel) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

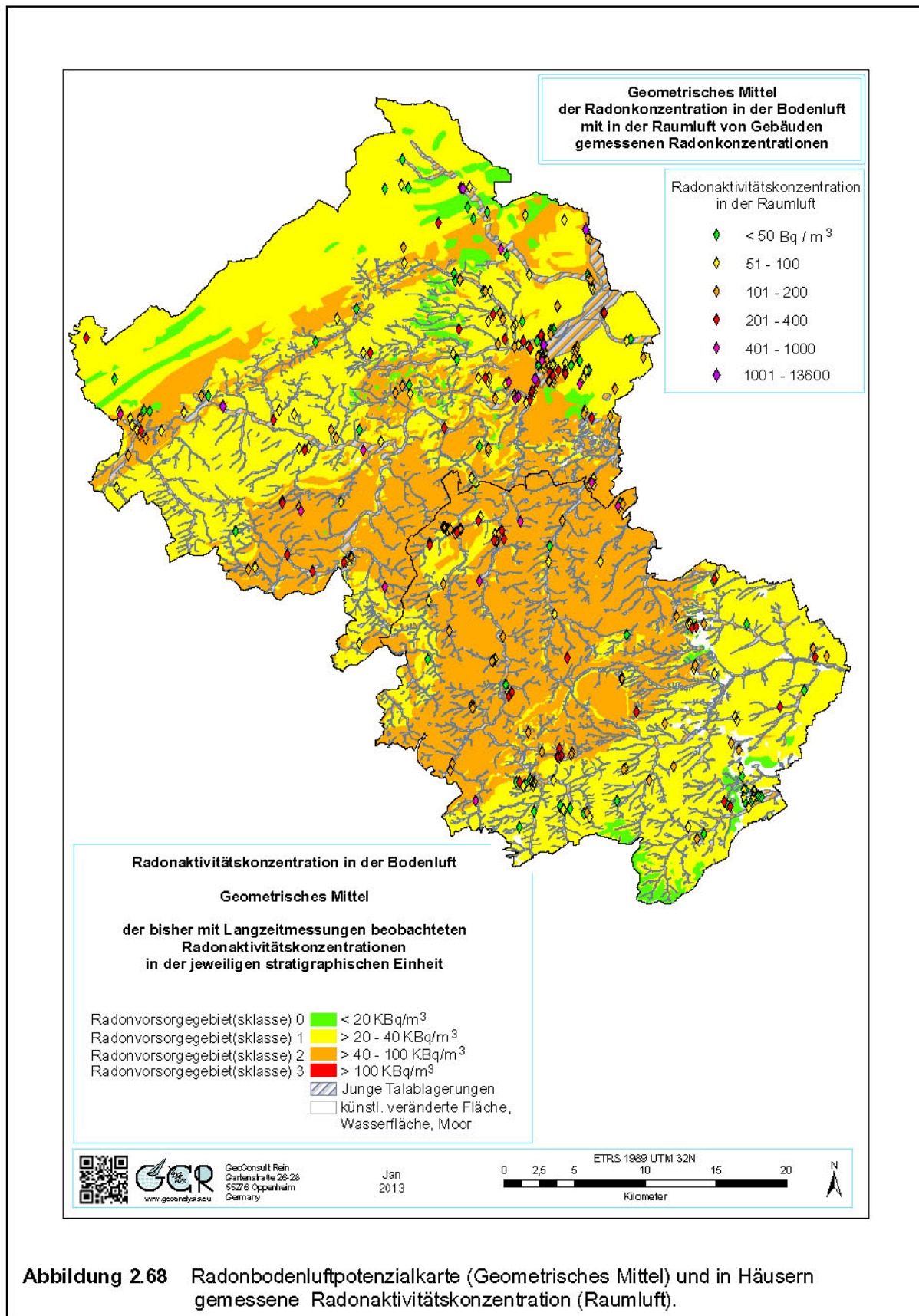


Abbildung 2.68 Radonbodenluftpotenzialkarte (Geometrisches Mittel) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

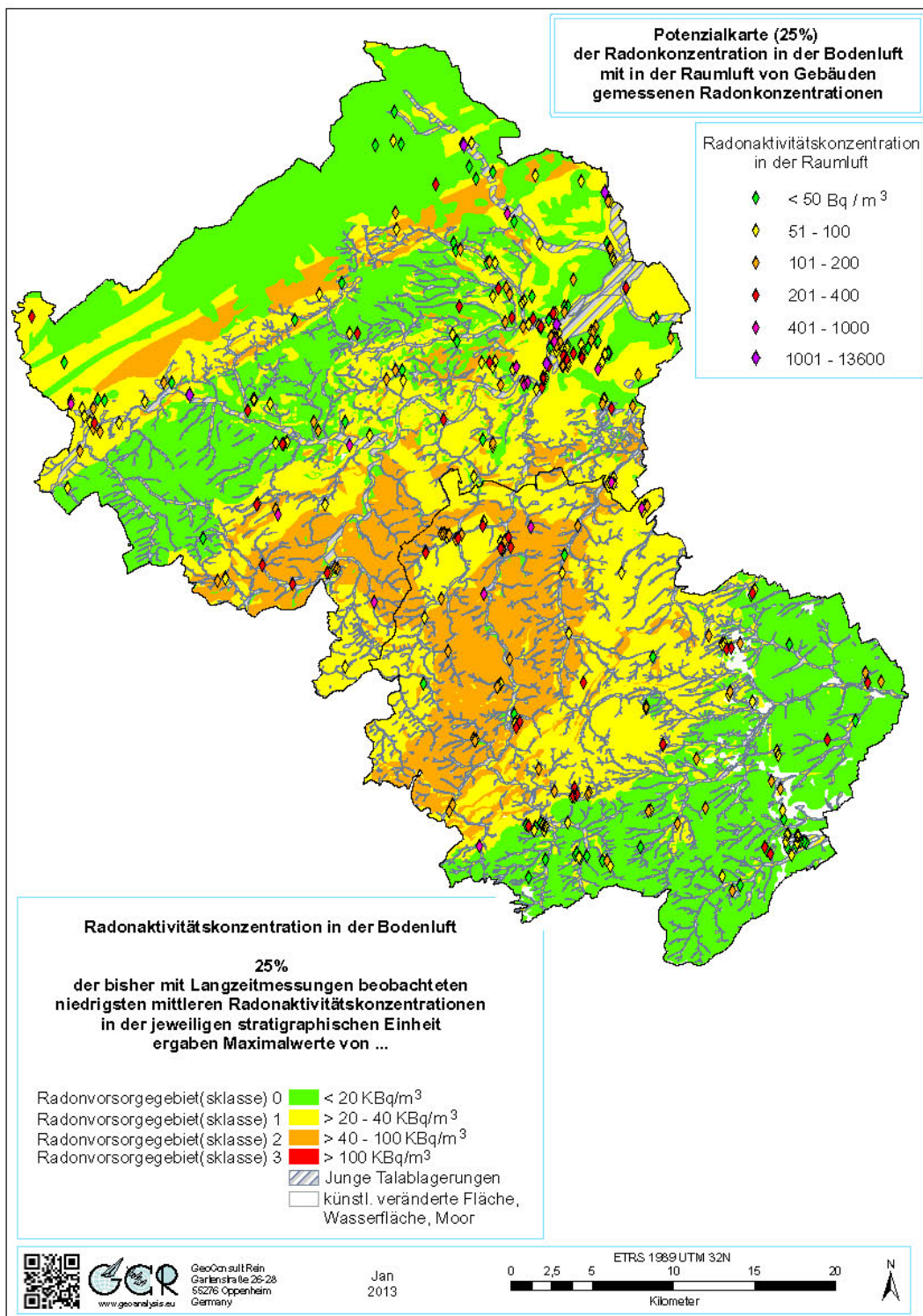


Abbildung 2.69 Radonbodenluftpotenzialkarte (25. Percentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

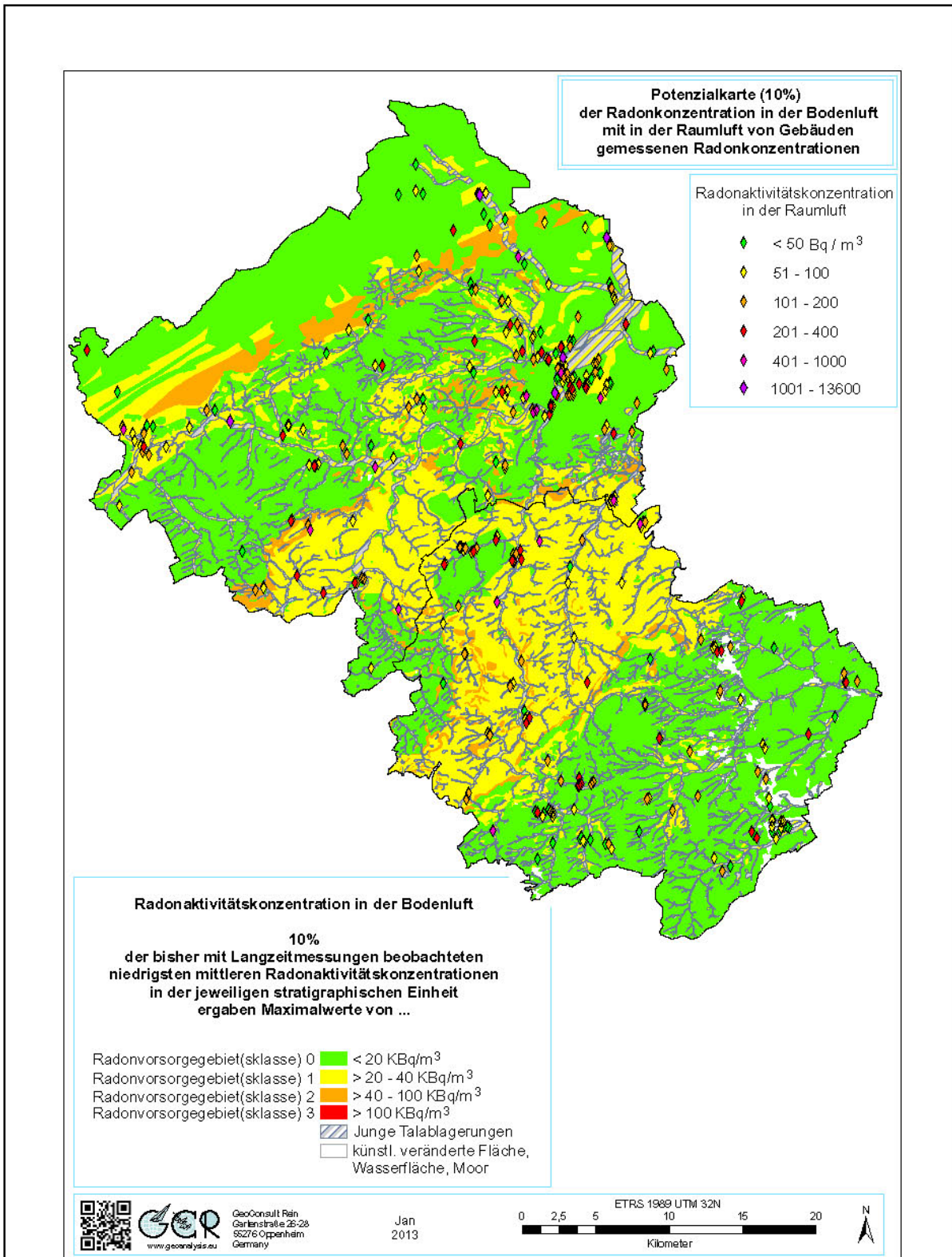


Abbildung 2.70 Radonbodenluftpotenzialkarte (10. Perzentil) und in Häusern gemessene Radonaktivitätskonzentration (Raumluft).

Die Ergebnisse einer einfachen statistischen Betrachtung, ob die Radonkonzentration in Gebäuden mit dem Radonpotential des Baugrundes ansteigt, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Arithmetisches und geometrisches Mittel der Radonraumlufkonzentrationen in Abhängigkeit vom Radonpotenzial des Baugrundes und der Lage des Messraumes im Gebäude.

		arithmetisches Mittel		geometrisches Mittel	
		GM ¹	P50 ²	GM ¹	P50 ³
		Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
Obergeschoss	Baugr.-RVK 0	19	19	19	19
	Baugr.-RVK 1	58	60	37	39
	Baugr.-RVK 2	64	64	47	46
	Baugr.-RVK 3	(a)	(a)	(a)	(a)
Erdgeschoss	Baugr.-RVK 0	22	22	22	22
	Baugr.-RVK 1	68	71	48	49
	Baugr.-RVK 2	82	80	55	53
	Baugr.-RVK 3	(a)	(a)	(a)	(a)
Kellergeschoss	Baugr.-RVK 0	(b)	(b)	(b)	(b)
	Baugr.-RVK 1	147	148	100	100
	Baugr.-RVK 2	284	288	111	112
	Baugr.-RVK 3	(a)	(a)	(a)	(a)

¹ Gruppierung der Messräume über GM - Radonpotenzialkarte "Geometrisches Mittel"

² Gruppierung der Messräume über Radonpotenzialkarte "50%.. (P50-Median)"

(a) nicht in den Potenzialkarten des GM und P50 realisiert

(b) keine Teilnehmer mit Kellern in RVK 0 Arealen

Die beiden Mittelwertkarten (GM-geometrisches Mittel, Abb. 2.66 und - GM, P50-Median, Abb. 2.68) des Radonpotenziales in der Bodenluft wurden genutzt, um alle innerhalb der jeweiligen Radonvorsorgeklasse der Karten liegende Häuser zu Gruppen zusammenzufassen. Innerhalb dieser Häuser wurde danach noch eine Unterteilung der Räume nach Etage vorgenommen.

So ergeben sich für jede Radonpotenzialkarte über die Gruppierung nach den vier Radonvorsorgegebietsklassen (RVK0-3) und den drei betrachteten Etagen (Kellergeschoss, Erdgeschoss, Obergeschoss) insgesamt zwölf Klassen. Für jede dieser Klassen wurde die mittlere Radonaktivitätskonzentration in der Raumluf berechnet.

Die Mittelwerte der Raumlufkonzentration wurden über zwei Berechnungsmethoden ermittelt.

Bei der Berechnung des arithmetischen Mittels erfolgt eine einfache Mittelwertbildung über alle Werte (Radonkonzentrationen) einer Klasse.

Eine Reduktion des Einflusses weniger häufig vorkommender Extremwerte erfolgt über die Mittelwertberechnung als geometrisches Mittel. Die Berechnung des geometrischen Mittelwertes erfolgt als n-te Wurzel (n=Anzahl der Werte) der Produkte der Werte (Radonkonzentrationen).

Die Ergebnisse in Tabelle 1 zeigen unabhängig von der für die Mittelwertbildung genutzten Methode einen Anstieg der mittleren Radonkonzentration in den Räumen mit zunehmendem Radonpotenzial (höhere Radonvorsorgeklasse) des Baugrundes.

Der Einfluss des Radonpotenzials im Baugrundes ist dabei, wenn auch zunehmend schwächer, bis ins erste Obergeschoss oder höhere Etagen (hier als Obergeschoss zusammengefasst) nachweisbar.

3. EINORDNUNG DER ERGEBNISSE IM LANDESWEITEN VERGLEICH

Die Tabelle 2 und die Abbildungen 3.1 bis 3.3 dienen der Einordnung und dem Vergleich der in diesem Projekt in den Landkreisen Bad Kreuznach und Donnersbergkreis gemessenen Radonraumlufkonzentrationen mit den Ergebnissen früherer Messkampagnen in anderen Landkreisen in Rheinland-Pfalz.

Der Landkreis Kusel ist der direkte Nachbar sowohl des Landkreis Bad Kreuznach wie auch des Donnersbergkreises und ist diesen auch geologisch sehr ähnlich.

Die Landkreise Trier-Saarburg und Bitburg-Prüm umfassen ein sehr weites Spektrum terrestrischer und mariner Ablagerungen des Tertiär, der Trias, in kleinen Teilen auch ähnliche Gesteine wie im Saar-Nahe-Becken, noch ältere devonische, gefaltete Sedimente, sowie permokarbone und junge tertiäre und quartäre Vulkanite. Im Landkreis Cochem-Zell dominieren devonische Gesteine, wie auch im westlichen Teil des sich östlich anschließenden Landkreis Mayen-Koblenz. In dessen östlichem Teil lagern über dem Devon die jungen quartären vulkanischen Ablagerungen des Osteifelvulkanfeldes. Im Westerwaldkreis werden im Unterschied dazu die devonischen Ablagerungen weitflächig von tertiären Vulkaniten und deren tonigen Verwitterungsbildungen überlagert .

Tabelle 2 Vergleich der Landkreise für die Radonraumlufmessungen vorliegen.

Donnersberg- kreis	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	33	56	38	43	2,3	45	102	127	164	12,1	--	--	--
Erdgeschoss	138	71	73	49	2,4	43	147	203	453	21,7	5,6	0,7	--
Keller	117	132	136	91	2,3	81	242	319	955	43,6	18,8	4,3	--

Bad Kreuznach	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	39	62	70	40	2,5	42	110	161	348	12,8	5,1	--	--
Erdgeschoss	173	77	136	52	2,1	49	126	185	1405	16,2	4,1	1,2	1,2
Keller	166	310	1302	112	2,8	98	318	493	13568	48,2	24,7	8,4	2,4

Kusel Kemski & P. 2005	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	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

Cochem-Zell Kemski & P. 2005	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	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	6,2	--

Mayen- Koblenz Kemski & P. 2005	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	19	70	48	57	2,1	58	147	196	196	--	--	--	--
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

Westerwald- kreis Kemski & P. 2005	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	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

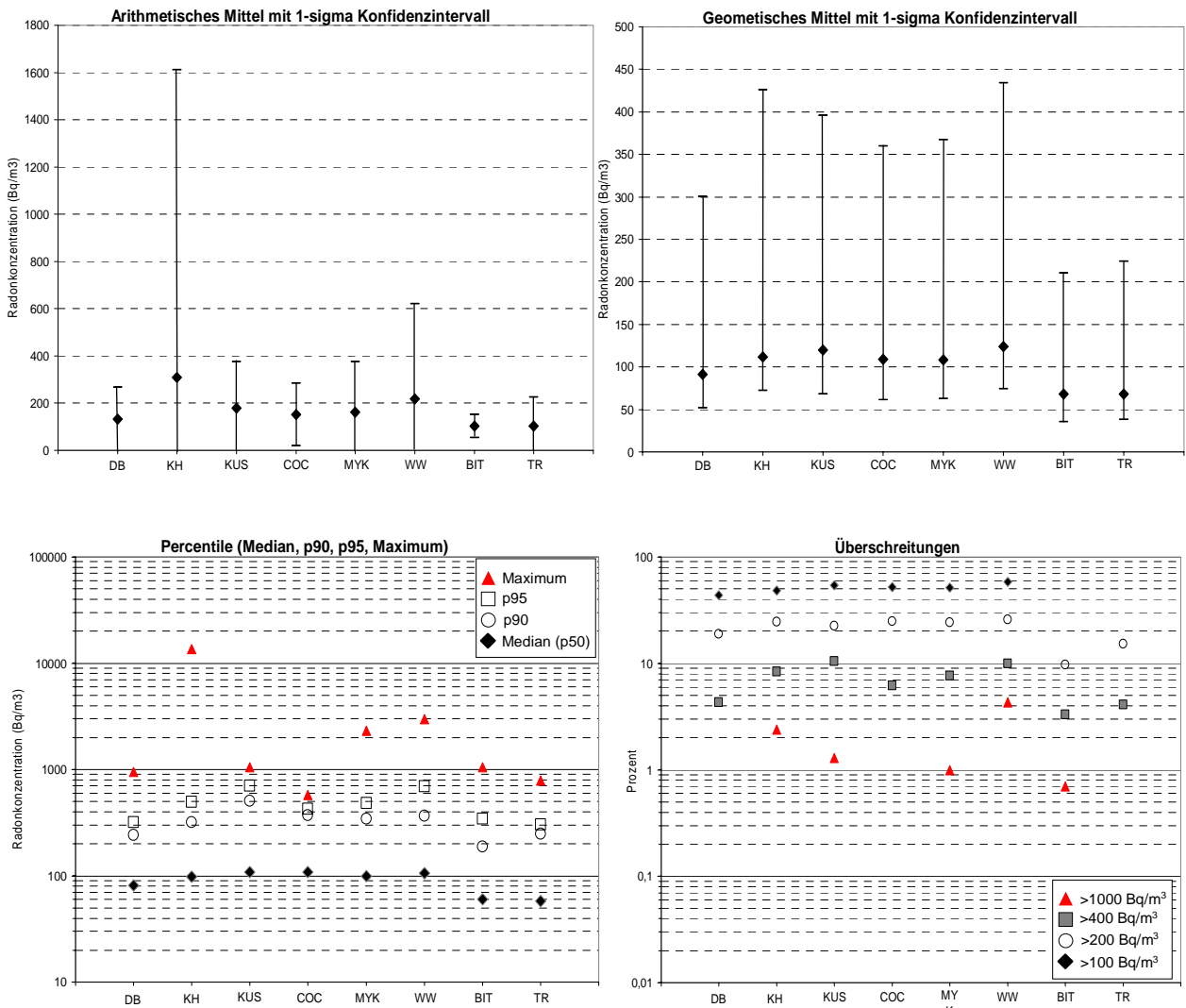
Bitburg-Prüm Kemski & P. 2003	Anz.	AM Bq/m ³	SD Bq/m ³	GM Bq/m ³	GSD	Median Bq/m ³	p90 Bq/m ³	p95 Bq/m ³	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	45	64	150	52	1,7	46	154	175	215		4,4	--	--
Erdgeschoss	186	83	93	61	1,9	53	172	269	752		7,5	1,6	--
Keller	134	103	48	68	2,1	60	188	343	1055		9,7	3,3	0,7

Trier- Saarburg Kemski & P. 2003	Anz.	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	Max. Bq/m ³	% >100 Bq/m ³	% >200 Bq/m ³	% >400 Bq/m ³	% >1000 Bq/m ³
Höhere Et.	87	49	34	42	1,8	41	88	102	204		1,1	--	--
Erdgeschoss	394	63	60	49	1,9	44	110	197	448		4,6	0,3	--
Keller	296	103	123	68	2,3	58	247	304	783		15,2	4,1	--

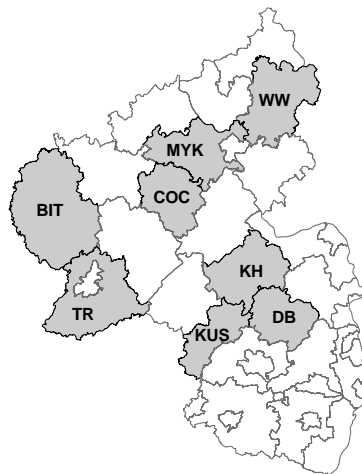
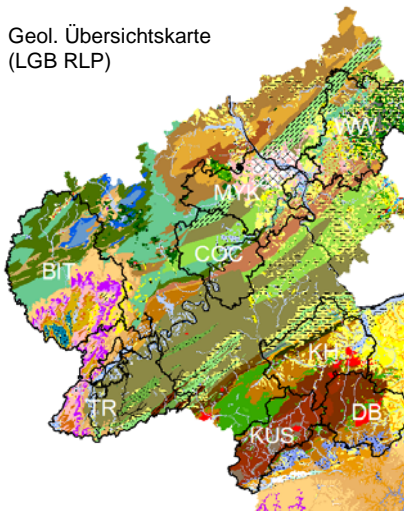
AM = Arithmetisches Mittel, SD = Standardabweichung, GM = Geometrisches Mittel,
GSD = Geometrische Standardabweichung, p90 = 90. Perzentil, p95 = 95. Perzentil,
Zur Verwendung des GSD:

Bestimmung der oberen 68%- Konfidenzintervallsgrenze: GM+GM*GSD;
untere 68%- Konfidenzintervallsgrenze: GM-GM/GSD

Kellergeschoss



Geol. Übersichtskarte (LGB RLP)

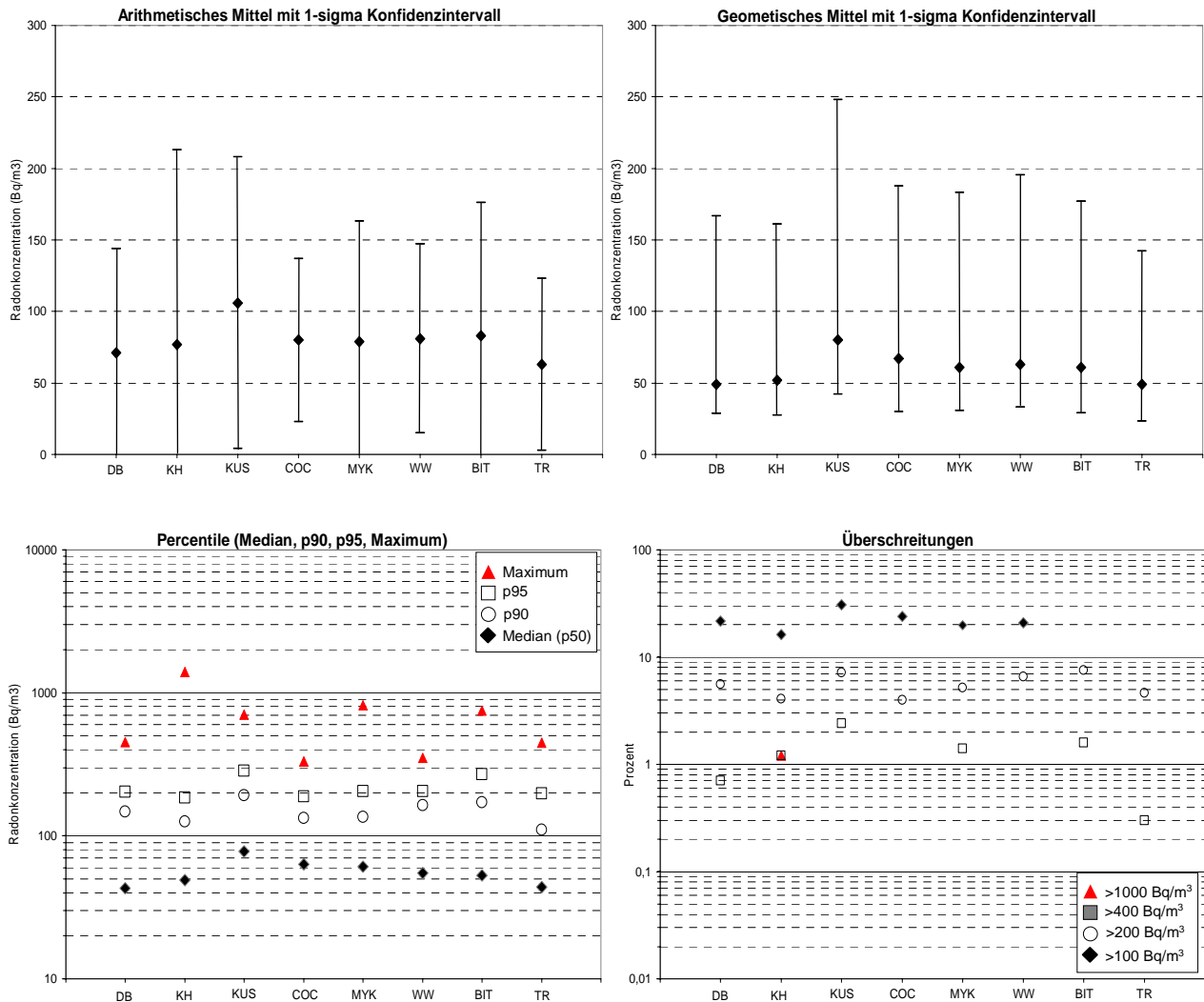


Landkreise

- DB - Donnersbergkreis
- KH - Bad Kreuznach
- KUS - Kusel
- COC - Cochem-Zell
- MYK - Mayen-Koblenz
- WW - Westerwaldkreis
- BIT - Bitburg-Prüm
- TR - Trier-Saarburg

Abbildung 3.1 Statistische Kenngrößen der Verteilung der Radonkonzentrationen in Kellergeschossräumen unterschiedlicher Landkreise.

Erdgeschoss



Landkreise
 DB - Donnersbergkreis
 KH - Bad Kreuznach
 KUS - Kusel
 COC - Cochem-Zell
 MYK - Mayen-Koblenz
 WW - Westerwaldkreis
 BIT - Bitburg-Prüm
 TR - Trier-Saarburg

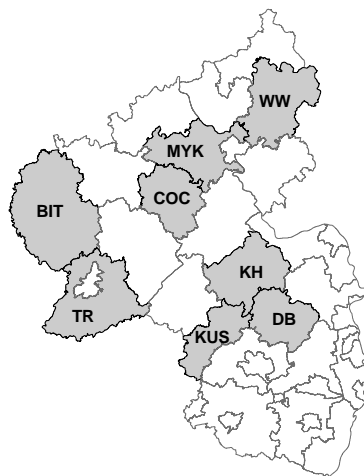
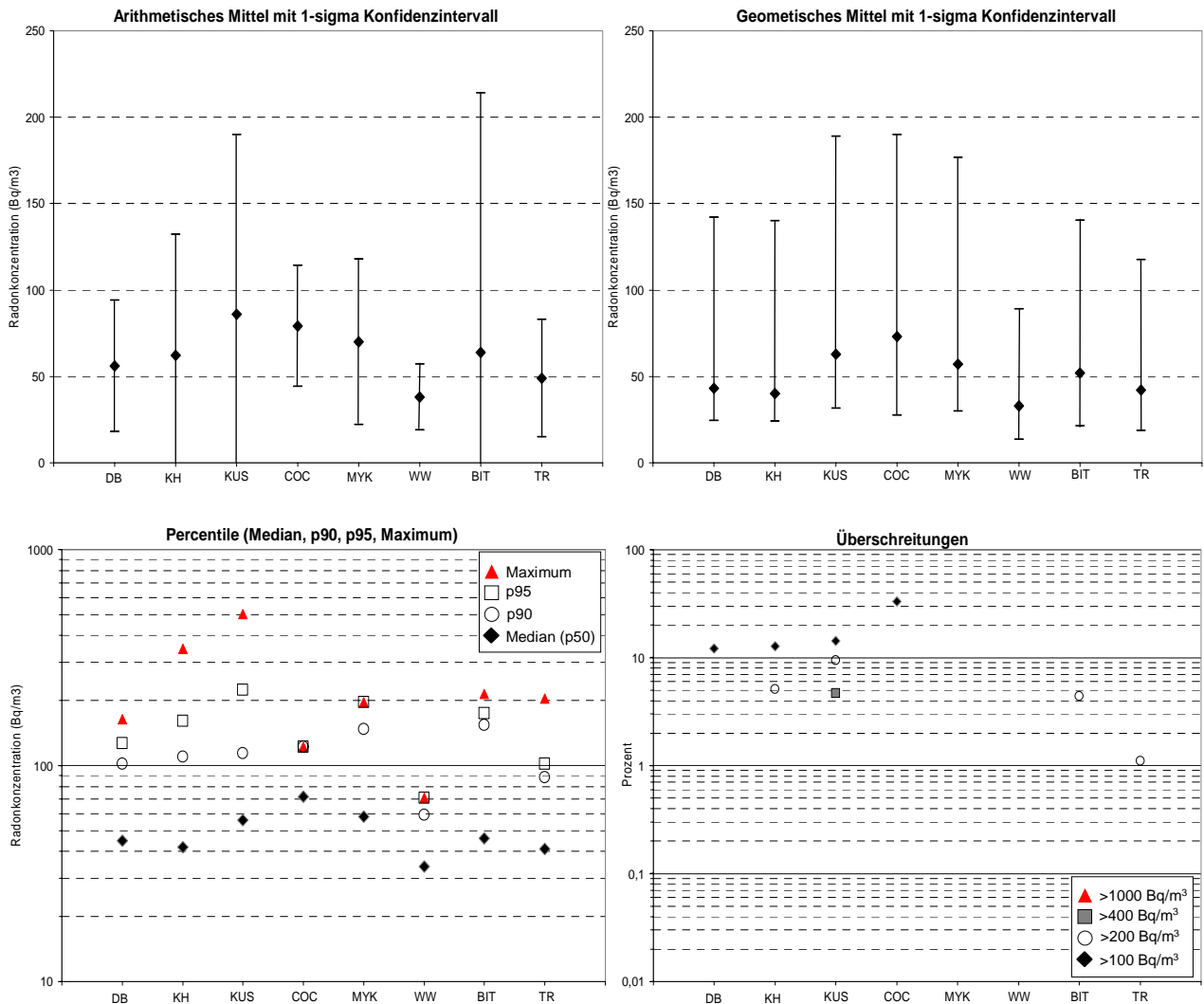


Abbildung 3.2 Statistische Kenngrößen der Verteilung der Radonkonzentrationen in Erdgeschoss-räumen unterschiedlicher Landkreise.

Höhere Etagen



Landkreise
 DB - Donnersbergkreis
 KH - Bad Kreuznach
 KUS - Kusel
 COC - Cochem-Zell
 MYK - Mayen-Koblenz
 WW - Westerwaldkreis
 BIT - Bitburg-Prüm
 TR - Trier-Saarburg

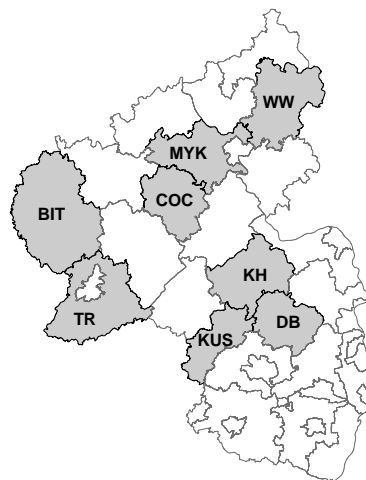


Abbildung 3.3 Statistische Kenngrößen der Verteilung der Radonkonzentrationen in Räumen höherer Etagen unterschiedlicher Landkreise.

Im Vergleich der Landkreise ist zu beachten, dass die Stichprobengrößen stark variieren (Tab. 2) und dass auch anders als in dieser Studie, die Radonmessungen früherer Messkampagnen (Kemski et al. 2003, Kemski & Klingel 2005) nicht über das gesamte Kreisgebiet verteilt, sondern schwerpunktmäßig in ausgewählten Gemeinden stattgefunden haben.

Im Vergleich der bisher untersuchten Landkreise in Rheinland-Pfalz nimmt der Donnersbergkreis über alle statistischen Parameter eine mittlere Position ein.

Das arithmetische Mittel der Radonkonzentration in Kellerräumen im Landkreis Bad Kreuznach ist das höchste bisher ermittelte, auch in den Maximalwerten der Radonkonzentration der Keller- und Erdgeschossräume führt der Landkreis Bad Kreuznach die Landkreise an. Hierbei muss erwähnt werden, dass diese Maximalwerte in unterschiedlichen Häusern gemessen wurden. Der Landkreis Bad Kreuznach ist bisher der einzige, in dem in Erdgeschossräumen Radonkonzentrationen über 1000 Bq/m^3 gemessen wurden. Mittlerweile liegen für diesen Kreis, durch außerhalb dieser Studie vorgenommene Messungen (und in der Statistik somit nicht berücksichtigt), für fünf weitere Erdgeschosswohnräume Messergebnisse zwischen 1000 Bq/m^3 und 3000 Bq/m^3 vor. Der Landkreis Bad Kreuznach ist auch der einzige, in dem in Kellerräumen Radonkonzentrationen (R_{n-222}) über 10.000 Bq/m^3 gemessen wurden.

4. REFERENZEN

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / Bundesamt für Strahlenschutz (2001/2010): Radonhandbuch Deutschland (letzte Aktualisierung 2010).

Kemski, J., Klingel, R. & R. Stegemann (2003): Radonmessungen in Gebäuden des Landkreises Bitburg-Prüm sowie des Landkreises Trier-Saarburg, 45 S.

Kemski J. & R. Klingel (2005): Radonmessungen in Gebäuden in Rheinland-Pfalz (Landkreise Cochem-Zell, Kusel, mayen-Koblenz und Westerwaldkreis), 64 S.

Rein B. (2008): Radonprognosekarte -2.PS- Entwicklung einer Zeitintegrativen Messmethode zur Bestimmung von Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft und Bestimmung des Radonpotentials in ausgewählten Gebieten mit der entwickelten Methode. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt,

Forsten und Verbraucherschutz und des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 170 S.

Rein, B. (2013): Radonpotenzialkarte – Rheinland-Pfälzisches Saar-Nahe-Bergland. Forschungsbericht im Auftrag des ehemaligen Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung und des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 126 S.

WHO (2009): WHO Handbook on Indoor Radon – A Public Health Perspective, 110 p.