



**Gutachterliche Stellungnahme**

**zur**

**Radonraumluftmessungen in öffentlichen Gebäuden in Hagen**

Auftraggeber: GWH Gebäudewirtschaft Hagen

Sachverständiger: Dr. J. Kemski

Ausführung: März 2006

Dieses Gutachten besteht aus 22 Seiten und 1 Anlage.



## **Gutachterliche Stellungnahme**

**zur**

### **Radonraumlufmessungen in öffentlichen Gebäuden in Hagen**

#### **1 Vorgang**

Auf der Grundlage des Angebotes vom 30. Mai 2005 beauftragte die GWH Gebäudewirtschaft Hagen mit Datum vom 6. Juli 2005 die Firma Kemski & Partner, Alte Heerstraße 1, 53121 Bonn, mit der Durchführung von Radonraumlufmessungen in öffentlichen Gebäuden der Stadt Hagen.

#### **2 Ausgangspunkt**

Aus Forschungsvorhaben des Bundes vorliegende Messergebnisse der Radonaktivitätskonzentration in der Boden- und Raumluf in der Stadt Hagen wurden im Jahr 2004 unter dem Gesichtspunkt von möglicherweise notwendigen Planungs- und Sanierungsmaßnahmen zusammengestellt und bewertet. Grundlage der Bewertung war das derzeit im Entwurfsstadium befindliche „Radonschutzgesetz“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Eine detaillierte Beschreibung der geologischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Hagen, des Zusammenhanges zwischen Geologie und Radonkonzentrationen in der Bodenluf sowie der Ergebnisse der o.g. Boden- und Raumlufuntersuchungen sind im Kurzbericht vom 19.11.2004 enthalten, der dem Umweltamt der Stadt Hagen vorliegt.



In den damaligen Empfehlungen wurde der Stadt u.a. geraten, in Arealen mit unterkarbonischen Ablagerungen (z.B.: Hangende und Liegende Alaunschiefer; Kulm-Plattenkalk, -Kieselkalk, -Lydit, -Kieselschiefer), die dem Radonvorsorgegebiet III (Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft über 100 kBq/m<sup>3</sup>) zugeordnet werden, in jedem Fall Raumlufmessungen in Gebäuden mit „sensibler“ Nutzung (z.B.: Schulen, Kindergärten, Büros in öffentlichen Gebäuden) durchzuführen. Gleiches wurde aus Vorsorgegründen für öffentliche Gebäude im Radonvorsorgegebiet II (Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft zwischen 41 und 100 kBq/m<sup>3</sup>), d.h. in Arealen mit devonischen Massenkalken sowie känozoischen Ablagerungen, als sinnvoll erachtet und daher empfohlen. Unabhängig davon wurden in diesen Gebieten Messungen in bereits bestehenden privaten Gebäuden angeraten. Hausbesitzern sollte von Seiten der Verwaltung empfohlen werden, Raumlufmessungen auf eigene Kosten durchzuführen.

Basierend auf diesen Empfehlungen sollte ein vom Umfang her zunächst beschränktes Untersuchungsprogramm in ausgewählten Schulen und Kindergärten in Hagen durchgeführt werden. Ziele dieser orientierenden Messungen waren:

- Bestimmung der Radonkonzentration in der Raumluf in den untersuchten Gebäuden,
- Bewertung der Messergebnisse bezüglich einer gesundheitlichen Gefährdung von Personal und/oder Nutzern (Kinder, Jugendliche),
- ggf. Abgabe von Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise bzw. zur Reduzierung der Radonkonzentration.

Aus einer Vorschlagsliste des Umweltamtes der Stadt Hagen von 30 Objekten wurde in Absprache mit Auftraggeber eine Auswahl von 16 öffentlichen Gebäuden getroffen, die im Bereich der o.g. geologischen Einheiten liegen (s. Tab. 1 und Abb. 1). Es wurden ausschließlich von Kindern bzw. Jugendlichen genutzte Einrichtungen beprobt; von Untersuchungen der Radonkonzentration in Räumen in Bürogebäuden und anderweitig genutzten Liegenschaften wurde in diesem Programm aus Kapazitätsgründen abgesehen.



Objekt	Gebäudeart	Name	Anschrift
1	Schulzentrum	Wehringhausen	Eugen-Richter-Straße 77-79
2	Kindertagesstätte	Wehringhauser Stadtmäuse	Eugen-Richter-Straße 75
3	Kindergarten	Amalie Sieveking	Gutenbergstraße 13
4	Grundschule	Emil-Schumacher-Schule	Siemensstraße 10
5	Kindertagesstätte	Remberg	Elbersstiege 16
6	Hauptschule	Remberg	Elbersstiege 10
7	Berufskolleg	Käthe-Kollwitz-Berufskolleg	Liebigstraße 20-22
8	Grundschule	Boloh	Weizenkamp 3
9	Kindergarten	Cuno-Villa	Haßleyer Straße 35
10	Realschule	Emst	Schwelmstück 3
11	Jugendheim	Jugendzentrum Emst	Cunostraße 33
12	Kindergarten	Emst	Cunostraße 106
13	Kindergarten		Sudentenstraße 14
14	Kindergarten		Wiesenstraße 7 a
15	Kolleg	Kaufmännisches Kolleg	Letmather Straße 21-23
16	Grundschule	Heideschule	Heideschulweg 12

Tabelle 1:  
Liste der Untersuchungsobjekte

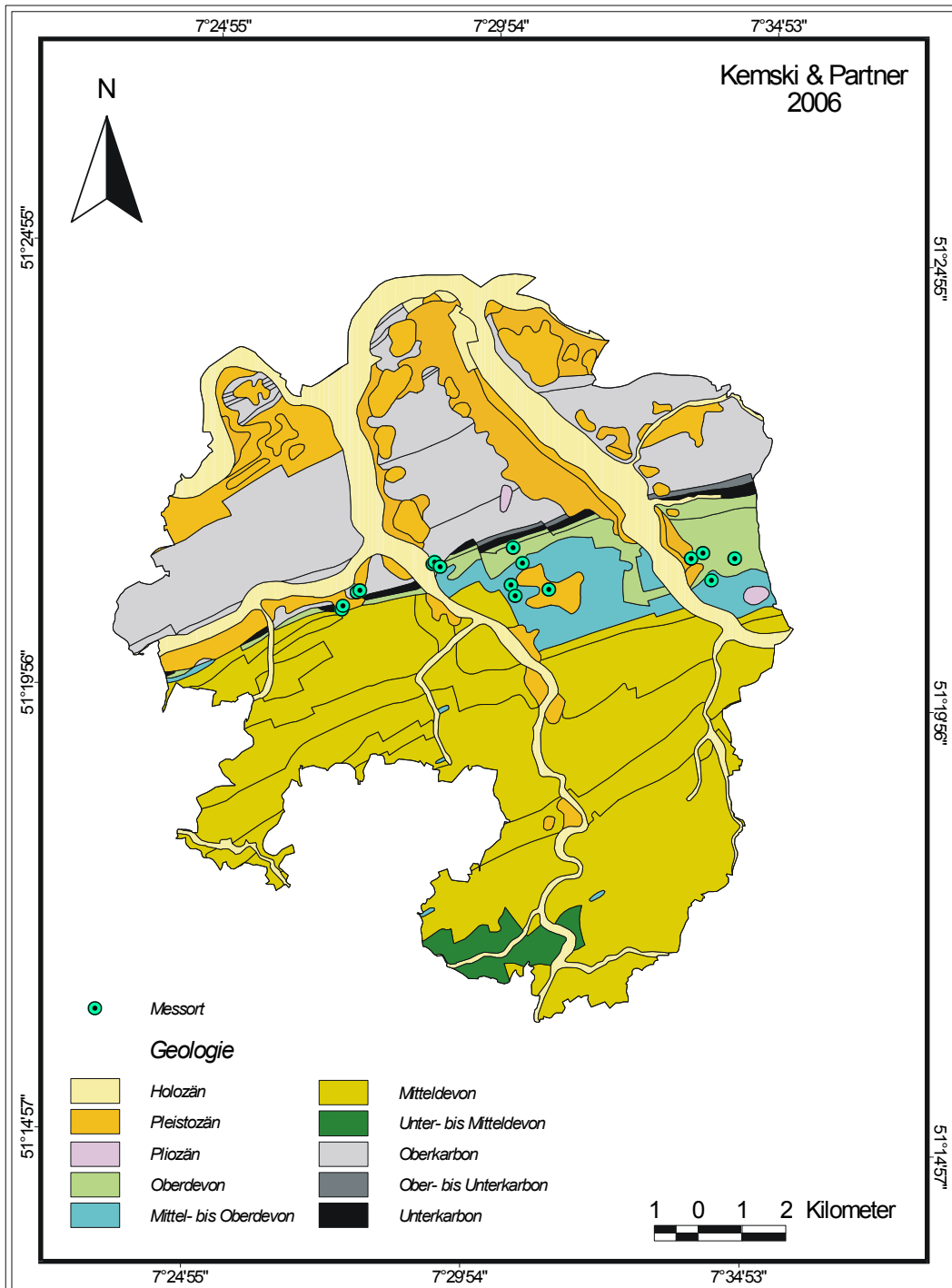


Abbildung 1:  
Lage der Untersuchungsobjekte auf geologischer Karte



### **3            Verwendete Unterlagen**

Zur Erstellung dieses Gutachtens wurden folgende Unterlagen verwendet:

- Kurzbericht: Radon im Stadtgebiet Hagen (19.11.2004)
- Deutschland-Karte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe (Stand: 2004)
- Digitale geologische Karte des Stadtgebietes Hagen im Maßstab 1 : 100.000 mit Lage der öffentlichen Gebäude (zur Verfügung gestellt vom Umweltamt der Stadt Hagen)

### **4            Beschreibung der grundlegenden Sachverhalte**

#### **4.1         Gesundheitliche Gefährdung**

Die gesundheitliche Gefährdung des Menschen durch die Inhalation von Radon in Gebäuden ist mittlerweile unbestritten. Zahlreiche internationale und nationale Gesundheits- und Strahlenschutzbehörden bestätigen einen entsprechenden Zusammenhang (World Health Organization, WHO: Air Quality Guidelines, 2000; deutsche Strahlenschutzkommission: Bewertung der epidemiologischen Radonstudien, 2005).

Neben dem Rauchen gilt Radon als die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs, andere Organe werden nach dem heutigen Kenntnisstand kaum belastet. Epidemiologische Studien zeigen einen Anstieg des Lungenkrebsrisikos in Abhängigkeit von der Höhe der Radonkonzentration. Die deutsche Studie weist bereits ab Konzentrationen von 140 Bq/m<sup>3</sup> in der Raumluft eine statistisch signifikante Zunahme des Risikos nach. Demnach liegt das zusätzliche relative Lungenkrebsrisiko bei ca. 10 % je 100 Bq/m<sup>3</sup> Radonkonzentration im Gebäude. Anders ausgedrückt: Bei einer Radonkonzentration von 1.000 Bq/m<sup>3</sup> verdoppelt sich das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken, im Vergleich zu einer Konzentration von weniger als 25 Bq/m<sup>3</sup> in Aufenthaltsräumen (unterste Expositions-kategorie als Vergleichswert). Eine zusammenfassende Bewertung von 13 internationalen Studien im Jahre 2005 korrigiert jedoch das Radonrisiko nach oben. Demnach führt eine Erhöhung der Radonkonzentration in der Raumluft um 100 Bq/m<sup>3</sup> sogar zu einem statistisch signifikanten Anstieg des Lungenkrebsrisikos um 16 %.

Dieser Zusammenhang lässt sich am besten mit dem Modell einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung ohne Schwellenwert erklären (LNT-Hypothese). Danach können bereits kleinste



Dosen zu einer Zellschädigung und damit zu einer Induzierung von Krebs führen. Die Ergebnisse der Raumluftstudien sind auch mit Extrapolationen zahlreicher Uranbergarbeiterstudien in den niedrigen Dosisbereich konsistent.

Dies bedeutet, dass Radon in Gebäuden in Europa

- ca. 9 % aller Lungenkrebstodesfälle und damit
- ca. 2 % aller Krebstodesfälle verursacht.

Oder in konkreten Zahlen ausgedrückt: Radon in Gebäuden ist Ursache für

- ca. 20.000 Lungenkrebstodesfälle in Europa und davon
- ca. 3.000 Lungenkrebstodesfälle in Deutschland.

Bei derartigen Risikobetrachtungen spielen auch andere Lebensgewohnheiten eine Rolle - bei Lungenkrebs natürlich das Rauchverhalten. So lieferte die o.g. Auswertung auch folgendes Ergebnis: Ist der Risikoanstieg mit zunehmender Radonkonzentration für Nichtraucher annähernd linear, multipliziert er sich bei Rauchern! Besonders deutlich wird dieser Unterschied, wenn man die Wahrscheinlichkeit betrachtet, bis zum 75. Lebensjahr tödlich an Lungenkrebs zu erkranken. Lässt man andere Todesursachen außer acht, so ist das Risiko für Raucher ungefähr um Faktor 25 höher.

Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang, dass das Bundesamt für Strahlenschutz davon ausgeht, dass in Deutschland ca. 20.000 Kinder und Jugendliche bei ihrem regelmäßigen Aufenthalt in Kindergärten, Kindertagesstätten, Schulen, Jugendheimen u.ä. einer Radonkonzentration oberhalb des europäischen Referenzwertes für bestehende Gebäude von  $400 \text{ Bq/m}^3$  ausgesetzt sind. Man geht davon aus, dass bei dieser speziellen Personengruppe das Krebsrisiko durch ionisierende Strahlung - wie beispielsweise durch die Inhalation von Radon - für Kinder etwa doppelt so hoch wie für Erwachsene ist.

#### **4.2 Radoneintritt ins Gebäude**

Radonkonzentrationen in Gebäuden haben bekanntermaßen ihre Ursache im geologischen Untergrund, d.h. in den Radionuklidgehalten der Böden und Gesteine. Eine Auflockerung bzw. Zerrüttung des Untergrundes - wie beispielsweise in Gebieten mit umgehendem Bergbau oder Altbergbau - kann aufgrund der Schaffung guter Wegsamkeiten für Fluide und Gase zu einer Erhöhung des Radonpotenzials in Nähe der Erdoberfläche führen.



Für die tatsächlich ins Haus eindringende Radonmenge und damit die Radonkonzentration im Gebäude sind eine Vielzahl von Parametern bedeutsam. Hierzu zählen z.B.

- Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft am Gebäudestandort
- Bauweise (z.B.: Unterkellerung, Hanglage, Anzahl der erdberührten Gebäudeteile)
- Zustand der Bausubstanz, insbesondere der erdberührten Gebäudeteile (z.B.: Vorhandensein von Rissen und/oder Leitungsdurchführungen)
- Dichtigkeit der Gebäudehülle (z.B. verbesserte Wärmedämmung im Rahmen von Energiesparmaßnahmen)
- Druckunterschiede zwischen Boden- bzw. Außen- und Raumluft
- Lüftungsverhalten der Nutzer
- spezifische Radiumaktivität des Baumaterials und Radonfreisetzungsrate aus Baumaterial
- Freisetzung aus Brauch- und Trinkwasser (nur in Ausnahmefällen von Bedeutung)

#### 4.3 Rechtsgrundlagen

Die Terminologie der auf dem Radonsektor, speziell auch im englischsprachigen Bereich, für „Grenzwerte“ u.ä. benutzten Begriffe ist sehr vielfältig; die Verwendung ist zudem uneinheitlich. Es lässt sich jedoch folgende vereinfachende Unterscheidung treffen:

Ein **Richtwert** besitzt empfehlenden Charakter und soll nicht überschritten werden.

Ein **Grenzwert** ist gesetzlich verankert und darf nicht überschritten werden.

In Deutschland existiert kein Grenzwert für die Radonkonzentration in Gebäuden. Gängige Praxis ist es, für Bewertungen von Raumluftmessungen die Richtwerte der EU-Empfehlung 90/143/Euratom (Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden) heranzuziehen. Danach wird zwischen einem Planungswert von  $200 \text{ Bq/m}^3$  im Jahresmittel für neu zu errichtende Gebäude und einem Referenzwert von  $400 \text{ Bq/m}^3$  im Jahresmittel für bereits existierende Gebäude unterschieden. Mittlerweile wird in Deutschland jedoch – unabhängig davon, ob es sich um ein bereits bestehendes Gebäude oder einen Neubau handelt – empfohlen, bei Radonkonzentrationen oberhalb von  $200 \text{ Bq/m}^3$  in Aufenthaltsräumen Maßnahmen zur Reduzie-





zung dieses Innenraumschadstoffes vorzunehmen. Grundsätzlich richten sich Umfang und Dringlichkeit dieser Maßnahmen nach der Höhe der gemessenen Konzentration.

Zur Zeit bereitet die Bundesregierung unter dem Gesichtspunkt eines notwendigen Gesundheitsschutzes der Bevölkerung ein „Radonschutzgesetz“ vor, in dem die Begrenzung der Radonbelastung in Aufenthaltsräumen für dessen Bewohner geregelt werden soll. Einbezogen sind hierin u.a. auch „normale“ Wohnräume, die in der im Jahre 2001 novellierten Strahlenschutzverordnung, die lediglich bestimmte Arbeitsfelder betrifft, ausdrücklich unberücksichtigt blieben. Wissenschaftliche Grundlagen für den o.g. gesetzlichen Arbeitsentwurf bilden die Ergebnisse umfangreicher geologischer und epidemiologischer Messprogramme der letzten Jahre. Ziel des Gesetzes ist eine allgemeine Reduzierung des Mittelwertes der Radonkonzentration in Gebäuden. Nur hierdurch gelingt es, für einen großen Anteil der Bevölkerung das Risiko herabzusetzen. Als „Zielwert“ wird im Entwurf eine Radonaktivitätskonzentration von  $100 \text{ Bq/m}^3$  im Jahresmittel genannt. Dieser Wert wird zur Zeit stark diskutiert.

Unabhängig von den Vorbereitungen zum Radonschutzgesetz befindet sich zur Zeit im Baurecht unter Federführung der ARGEBAU (Konferenz der für Städtebau-, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren der Länder) eine "Radon-Richtlinie" in Vorbereitung, die sich mit der Bewertung und Sanierung radonbelasteter Gebäude sowie Empfehlungen zum radongeschützten Bauen befasst. Die "Radon-Richtlinie" ist unter dem Gesichtspunkt der Gefahrenabwehr erarbeitet worden; vergleichbares existiert bereits für andere Innenraumschadstoffe wie Asbest, PCB, oder PCP. Die Richtlinie bezieht sich auf Gebäude, deren Belastung auf das geogen in der Bodenluft vorhandene Radon zurückzuführen ist. Für bestehende Gebäude soll ein Grenzwert von  $1.000 \text{ Bq/m}^3$  im Jahresmittel festgeschrieben werden. Bei dessen Überschreitung muss innerhalb von drei Jahren eine Sanierung erfolgen, die als Ziel die Unterschreitung einer Konzentration von  $200 \text{ Bq/m}^3$  hat. Auch bei Radonkonzentrationen zwischen  $400$  und  $1.000 \text{ Bq/m}^3$  sollen Sanierungsmaßnahmen mit dem selben Ziel empfohlen werden. Präventive Maßnahmen zum Radonschutz bei Neubauten sollen bewirken, dass eine Radonkonzentration von  $200 \text{ Bq/m}^3$  nicht überschritten wird.



## 5 Planung der Messungen

Die Auswahl der Untersuchungsobjekte in Hagen basierte auf deren Zuordnung zur Geologie (Tab. 2); kartographische Grundlage war die digitale geologische Karte des Umweltamtes der Stadt Hagen (s. Kap. 2, Abb. 1 ). Die Auswahl der Objekte konzentrierte sich auf diejenigen Areale im Stadtgebiet, die aus geologischen Gründen ein erhöhtes geogenes Radonpotenzial aufweisen (Radonvorsorgegebiet III und II, Abb. 2). Gebäude außerhalb der o.g. geologischen Einheiten wurden bis auf einige Objekte über den oberdevonischen Gesteinen nicht in das Untersuchungsprogramm einbezogen; gleiches gilt für Schulen und Kindergärten, die sich zwar in den genannten Gebieten befinden, aber nicht durch die öffentliche Hand unterhalten werden (z.B. Objekte kirchlicher und privater Träger). Aus diesem Grund handelt es sich nicht um eine repräsentative Messreihe für die Stadt Hagen, sondern um ein Übersichtsprogramm anhand gezielt ausgewählter Untersuchungsobjekte.

Objekt	Einrichtung	Geologie
1	Schulzentrum Wehringhausen	Unterkarbon/Pleistozän bis Holozän
2	Kindertagesstätte Wehringhauser Stadtmäuse	Unterkarbon/Pleistozän bis Holozän
3	Städt. Kindergarten Amalie Sieveking	Oberkarbon
4	Emil-Schumacher-Schule	Oberkarbon
5	Kindertagesstätte Remberg	Oberkarbon
6	Hauptschule Remberg	Oberkarbon
7	Käthe-Kollwitz-Berufskolleg	Oberdevon
8	Grundschule Boloh	Oberdevon
9	Kindergarten Cuno-Villa	Mittel- bis Oberdevon
10	Realschule Emst	Mittel- bis Oberdevon
11	Jugendheim Cunostraße	Mittel- bis Oberdevon
12	Kindergarten Emst	Oberpleistozän über Mittel- bis Oberdevon
13	Kindergarten Sudetenstraße	Oberdevon
14	Kindergarten Wiesenstraße	Oberdevon
15	Kaufmännisches Kolleg	Oberdevon
16	Heideschule Hohenlimburg	Mittel- bis Oberdevon

Tabelle 2:  
Zuordnung der untersuchten Objekte zu geologischen Einheiten

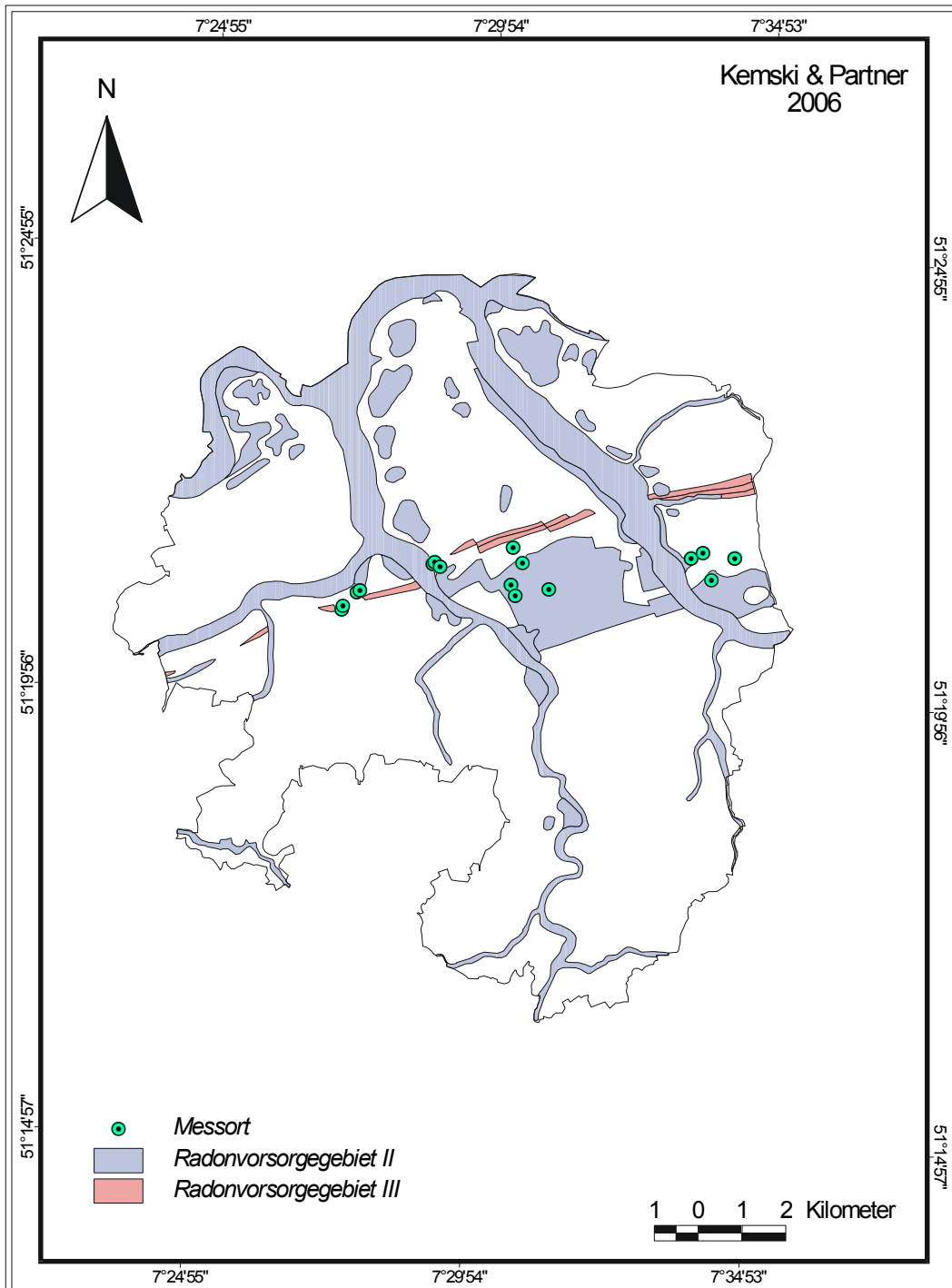


Abbildung 2:  
Lage der Untersuchungsobjekte und Radonvorsorgegebiete



Die unterkarbonischen Ablagerungen des Radonvorsorgegebietes III stellen einen nur sehr schmalen Streifen innerhalb des Stadtgebietes mit einer maximalen Breite von ca. 200 m dar, auf dem nur sehr wenige öffentliche Gebäude und keine öffentlichen Schulen und Kindergärten liegen. Lediglich im Westteil des Stadtgebietes (Stadtteil Wehringhausen) konnten zwei Objekte (Tab. 2: Objekt 1 und 2) untersucht werden, die auf pleisto- bis holozänen Ablagerungen über den unterkarbonischen Gesteinen gebaut sind. Vier Objekte (Tab. 2: Objekte 3 bis 6) liegen über den unmittelbar nördlich anschließenden oberkarbonischen Sedimentgesteinen (Schluff- und Tonsteine des Namur B und C); diese Gebäude wurden aufgrund der räumlichen Nähe zum Ausbiss der Unterkarbonsgesteine in das Messprogramm aufgenommen. Die übrigen Untersuchungsobjekte (Tab. 2: Objekte 7 bis 16) liegen im Radonvorsorgegebiet II über den mittel- bis oberdevonischen sowie über oberdevonischen Gesteinen, im Wesentlichen massigen Kalksteinen des Givet und kalkhaltigen Tonsteinen des Adorf, die z.T. von jungen Sedimenten des Quartär überdeckt sind.

## **6 Messverfahren und -strategie**

Für die Messung der Radonkonzentration existieren zahlreiche Messverfahren (z.B.: Kurzzeit-/Langzeitmessung, integrierende/kontinuierliche Messungen), aus denen je nach Fragestellung das geeignete ausgewählt werden muss.

Die Ermittlung der Radonkonzentration in der Raumluft erfolgt in aller Regel mit Hilfe integrierender Langzeitmessungen über einen Zeitraum von 3 bis 12 Monaten. Diese Messungen liefern als Ergebnis eine Radonkonzentration über den gesamten Messzeitraum an einem Messort. Der o.g. Messzeitraum ist erforderlich, weil Bewertungen als Grundlage für eventuell notwendige Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration in Gebäuden nur auf Basis von Jahresmittelwerten vorgenommen werden sollen. Kurzzeitmessungen liefern lediglich einen Anhaltswert über die Höhe der Radonbelastung. Für den praktischen Einsatz – insbesondere für umfangreiche Untersuchungsreihen - ist zudem vorteilhaft, dass dieses Verfahren einfach in der Handhabung und kostengünstig ist.

Auch in der vorliegenden Messkampagne wurde ein integrierendes Kernspurmessverfahren mit sogenannten Diffusionskammern mit Exposimetern (auch unter den Begriffen "Festkörperspurdetektor" oder "Kernspurdetektor" bekannt) eingesetzt. Die Messungen erfolgen nach DIN 25 706, Teil 1. In jedem Raum, in dem die Radonkonzentration ermittelt werden



soll, wurde ein Exposimeter aufgestellt. Die Räume sollten so genutzt werden, als ob das Exposimeter nicht vorhanden wäre.

Die Radonkonzentration in Gebäuden unterliegt in der Regel einem tages- und jahreszeitlichen Gang. Dies muss bei der Wahl der Länge des Messzeitraumes in Abhängigkeit vom Ziel der Untersuchung berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall sollte die Langzeitradonexposition bei üblicher Nutzung der Räume – also im Schul- bzw. Kindergartenbetrieb – ermittelt werden. Der Messzeitraum erstreckte sich über 6 Monate von Mitte Juni bis Mitte Dezember 2005. Während der Schulferien (Sommer: 7.7. bis 19.8.2005; Herbst: 4. bis 15.10.2005) wurden die Mehrzahl der untersuchten Objekte nicht genutzt.

Vier Exposimeter waren bei der Einsammlung nicht auffindbar (s. Kap. 7). Daher wurden hier Kurzzeitmessungen nach DIN 25 706 mit Exposimetern durchgeführt. Das Messprinzip ist mit dem oben beschriebenen Verfahren identisch.

## **7 Ausbringung und Einsammlung der Exposimeter**

Die Exposimeter wurden am 13.6.2005 während einer Kurzbegehung der ausgewählten Objekte vom Auftragnehmer im Beisein je eines Vertreters des Umweltamtes der Stadt Hagen (Hr. Weber) und des Amtes für Gebäudemanagement (Fr. Rachor-Ebbinghaus) ausgebracht. Grundsätzlich wurde ein Vertreter der Schule bzw. des Kindergartens (z.B.: Kindergärtnerin, Lehrer, Hausmeister) informiert, an welcher Stelle die Exposimeter sich befinden. Die Messungen erfolgten in der tiefsten Etage in von Personal und/oder Kindern genutzten Räumen; in aller Regel wurden zwei von Personal und/oder Kindern genutzte Räume pro Objekt untersucht. Da es sich hierbei um eine orientierende Messreihe handelte, wurden in keinem Objekt alle von Personal und/oder Kindern genutzten Räume beprobt.

Die Einzelheiten zum Messort wurden protokolliert und charakteristische Aufstellungsorte photographisch dokumentiert.

Die Aufstellung der Exposimeter vor Ort orientierte sich an den besonderen Gegebenheiten der Messräume und deren Nutzung. Da es sich bei Messräumen in Schulen und Kindergärten um stark frequentierte und häufig auch von unterschiedlichen Personen genutzte Räume handelt, musste darauf geachtet werden, dass die Exposimeter unauffällig und möglichst unzugänglich exponiert werden. Wenn möglich, wurden die Exposimeter in einer Höhe von ca. 150 cm über dem Boden mit doppelseitigem Klebeband auf Regalen, auf der Rück-



seite von Tafeln, auf Balken bzw. Verstrebrungen rauminterner Einbauten (z.B.: Klettergerüste in Kindergärten), auf Erste Hilfe-Kästen oder Lautsprechern befestigt. Bei allen Aufstellorten wurde auf einen möglichst großen Wandabstand geachtet.

Der Auftraggeber füllte zudem für jedes Objekt einen Fragebogen aus, in dem Angaben zur Bauweise und Nutzung des Gebäudes und den Aufstellungsräumen sowie zur Aufenthaltsdauer des Personals bzw. der Kinder erhoben wurden (Anlage 1).

Rechtzeitig vor dem abgesprochenen Messende wurde der Auftraggeber an die Einsammlung und Rücksendung der Exosimeter erinnert. Die Einsammlung der Messgeräte erfolgte am 8.12.2005 durch den Auftraggeber (Fr. Rachor-Ebbinghaus und Hr. Wittkowski vom Umweltamt der Stadt Hagen). Aufgrund organisatorischer Probleme beim Auftraggeber gingen die Exosimeter erst am 24.1.2006 beim Auftragnehmer wieder ein, d.h. zwischen Messende und Auswertung lag ein Zeitraum von ca. 6 Wochen. Die Exosimeter waren während dieser Zeit nicht in der luftdichten Originalhülle verpackt und befanden sich laut Auskunft des Auftraggebers bei der Post bzw. auf der behördeneigenen Poststelle. Über die während dieser Zeit von den Exosimetern „aufgenommene“ Radonmenge kann keine quantitative Aussage getroffen werden. Qualitativ ist unter Zugrundelegung des o.g. Sachverhaltes aber davon auszugehen, dass keine nennenswerte zusätzliche Exposition der Messgeräte erfolgt und daher keine Messwertkorrektur notwendig ist. Die Berechnung der Radonkonzentration erfolgte unter Zugrundelegung des Messzeitraumes vom 13.6.2005 bis 8.12.2005.

In vier Räumen in drei Objekten (Objekte 4, 11 und 14). waren die Exosimeter bei der Einsammlung nicht mehr auffindbar. Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber wurden für diese Messorte Kurzzeitmessungen an den identischen Aufstellorten durchgeführt, um einen Anhalt für die Höhe der Radonbelastung in den untersuchten Objekten zu erhalten. Die Messungen fanden vom 30.1.2006 bis 2.3.2006 statt. Auch während diesen Nachmessungen ging ein Exosimeter (Objekt 4) verloren; von einer erneuten Messung in diesem Raum wurde nach Rücksprache mit dem Auftraggeber abgesehen, um die Fertigstellung des Gutachtens nicht noch weiter hinauszuzögern.



## 8 Ergebnisse

Die Messwerte sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Der Messfehler (2 s, d.h. 95 % aller Messwerte liegen innerhalb des Fehlerbereiches) liegt bei 15 %.

Objekt	Einrichtung	Gebäude	Etage	Raum	Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]
1	Schulzentrum Wehringhausen		Keller	OGS	20
1	Schulzentrum Wehringhausen		Erdgeschoss	E 18	50
2	Kindertagesstätte Wehringhauser Stadtmäuse		Erdgeschoss	Frösche	30
3	Städt. Kindergarten Amalie Sieveking		Keller	Rote Gruppe	80
3	Städt. Kindergarten Amalie Sieveking		Keller		80
4	Emil-Schumacher-Schule		Keller		
4	Emil-Schumacher-Schule		Erdgeschoss	1 a	20
5	Kindertagesstätte Remberg		Erdgeschoss	Blaue Gruppe	90
5	Kindertagesstätte Remberg		Erdgeschoss	Gelbe Gruppe	50
6	Hauptschule Remberg		Erdgeschoss	Werkraum	40
6	Hauptschule Remberg		1. Etage	3	20
7	Käthe-Kollwitz-Berufskolleg	Trakt 3	Erdgeschoss	3136	70
7	Käthe-Kollwitz-Berufskolleg	Trakt 5	Erdgeschoss	5157	110
8	Grundschule Boloh		Erdgeschoss	1.5	40
8	Grundschule Boloh		Erdgeschoss		40
9	Kindergarten Cuno-Villa		1. Etage	Mäuse-Gruppe	70
10	Realschule Emst		Keller	U.21	150
10	Realschule Emst		Erdgeschoss	E.5	1500
11	Jugendheim Cunostraße	Nebengebäude	Erdgeschoss		< 15
11	Jugendheim Cunostraße	Hauptgebäude	Erdgeschoss		70
12	Kindergarten Emst		Erdgeschoss	Grüne Gruppe	50
12	Kindergarten Emst		Erdgeschoss	Rote Gruppe	90
13	Kindergarten Sudetenstraße		Erdgeschoss	1	40
13	Kindergarten Sudetenstraße		Erdgeschoss	3	40
14	Kindergarten Wiesenstraße		Erdgeschoss		20
14	Kindergarten Wiesenstraße		Erdgeschoss	Blaue Gruppe	< 15
15	Kaufmännisches Kolleg	Trakt 3	Erdgeschoss	002	70
15	Kaufmännisches Kolleg	Trakt 1	Erdgeschoss	101	70
15	Kaufmännisches Kolleg	Trakt 2	Erdgeschoss	207	100
16	Heideschule Hohenlimburg		Erdgeschoss	25	230

Tabelle 3:  
Radonaktivitätskonzentrationen in Schulen und Kindergärten in Hagen



Es ist davon auszugehen, dass die Nutzungsbedingungen, speziell das Lüftungsverhalten, während des Messzeitraumes nicht dem jahreszeitlichen Mittel entsprechen. Daher ist es in solchen Fällen üblich, eine Korrektur des Messwertes vorzunehmen. Die Messungen haben zum größeren Teil in der wärmeren Jahreszeit (Sommer bis Herbst) stattgefunden, dies führt erfahrungsgemäß zu tendenziell niedrigeren Radonkonzentrationen. Jeder Messwert wurde daher mit einem Korrekturfaktor von 0,9 in das zur Bewertung herangezogene Ergebnis umgerechnet (Spalte *Radon* in Tab. 3).

Anmerkung zur Angabe der Messwerte:

Bei der Angabe von Radonkonzentrationen in der Raumluft werden Messwerte unterhalb von  $100 \text{ Bq/m}^3$  vereinbarungsgemäß auf volle 10er-Werte gerundet. Bei Messwerten über  $100 \text{ Bq/m}^3$  werden die ersten beiden Führungsziffern angegeben, der Rest besteht aus Nullen.  $15 \text{ Bq/m}^3$  sind die Nachweisgrenze des Messverfahrens.

Die überwiegende Mehrzahl der betrachteten Räume (24 Räume, ca. 83 %) weist Radonkonzentrationen von weniger als  $100 \text{ Bq/m}^3$  auf. Dies ist im Hinblick auf eine mögliche Belastung des Personals sowie der betreuten Kinder ein erfreuliches Ergebnis. In fünf Räumen wird der angestrebte Zielwert von  $100 \text{ Bq/m}^3$  überschritten, davon in drei Räumen allerdings nur geringfügig. In einem Raum wurden über  $200 \text{ Bq/m}^3$  gemessen: Der Spitzenwert in der Realschule Ernst liegt bei  $1.500 \text{ Bq/m}^3$ ; vor allem diese hohe Radonkonzentration gibt Anlass für weitere Maßnahmen.

Aufgrund der Bodenluftkonzentrationen im Stadtgebiet Hagen und der bekannten Verteilung der Transferfaktoren für Wohngebäude kann man erwarten, dass in etwa 10 bis 15 % Gebäude der Zielwert von  $100 \text{ Bq/m}^3$  überschritten wird. Die Verteilung der Maximalwerte der untersuchten Gebäude bestätigt diese Erwartung; die Abhängigkeit trifft offensichtlich auch für die öffentlichen Gebäude zu (Abb. 3).



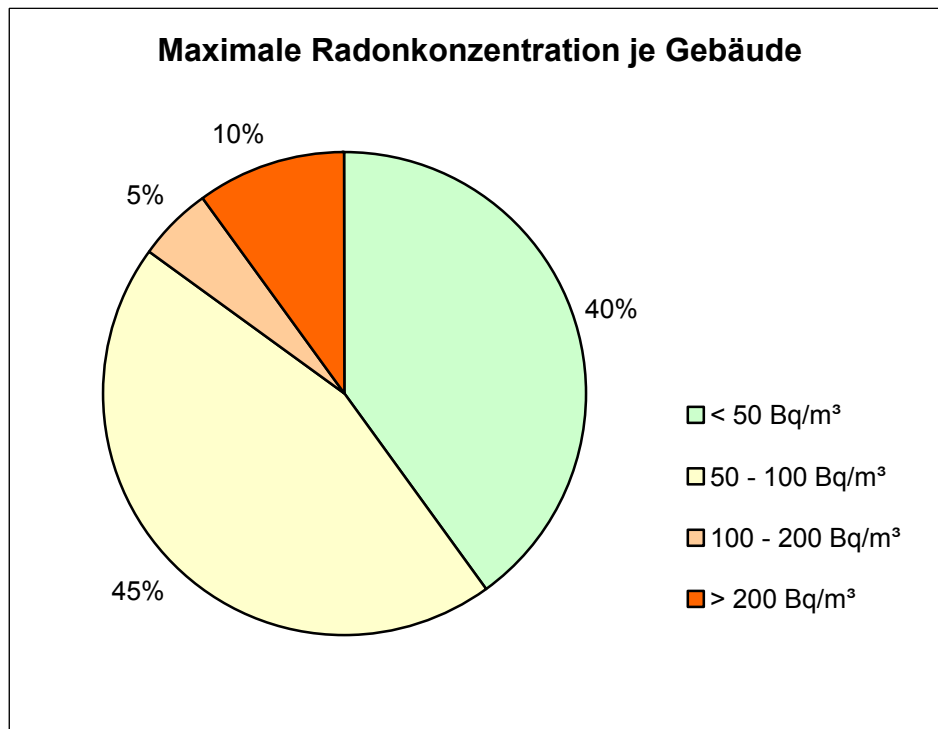


Abbildung 3:  
Maximale Radonkonzentration in der Raumluft in den untersuchten Gebäuden (n = 20)

Der geometrische Mittelwert der Messwerte liegt mit  $57 \text{ Bq/m}^3$  exakt bei dem Wert, wie er im Rahmen vieler Messkampagnen für das Bundesamt für Strahlenschutz bei Wohnhäusern in Deutschland ermittelt wurde.

Anmerkung zum geometrischen Mittelwert:

Die Gesamtheit aller Messwerte der Radonkonzentration in der Raumluft folgt einer logarithmischen Normalverteilung, wie sie für naturräumliche Parameter üblich ist. Dies bedeutet, dass die Verteilung „ungleichförmig“ ist und sich im unteren Messbereich die Messwerte stark häufen. Zur Beschreibung solcher Verteilungen wird zu meist der geometrische Mittelwert verwendet. Der geometrische Mittelwert besitzt im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert eine höhere Aussagekraft, weil er Ausreißern – beispielsweise sehr hohen Messwerten – eine „geringere“ Bedeutung beimisst und somit die tatsächliche Messwertverteilung besser charakterisiert.

Mit den Fragebögen wurden Angaben zur Bausubstanz der einzelnen Gebäude übermittelt. Abhängigkeiten der Radonkonzentration von bestimmten Baucharakteristika (z.B.: Unter-



kellerung, Baujahr; Baumaterial) haben sich bei der Auswertung nicht gezeigt, da die Variationsbreiten hierfür zu gering waren.

Die räumliche Verteilung der Messwerte ist in Abbildung 4 vor dem Hintergrund der geologischen Einheiten dargestellt. Über den radon-anomalen Gesteine des Unterkarbon, die in einem schmalen West-Ost gerichteten Band das Stadtgebiet durchziehen, konnten keine öffentlichen Gebäude untersucht werden. Die beiden Gebäude mit Messwerten über 200 Bq/m<sup>3</sup> liegen über den mitteldevonischen Massenkalken, die im Stadtgebiet weit verbreitet sind. Solche verkarsteten Kalke sind aus anderen Regionen Europas schon als Gebiete bekannt, an denen lokal erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden auftreten können. Insofern sind diese Ergebnisse nicht überraschend, sondern bestätigen die getroffene, geologisch orientierte Vorauswahl.

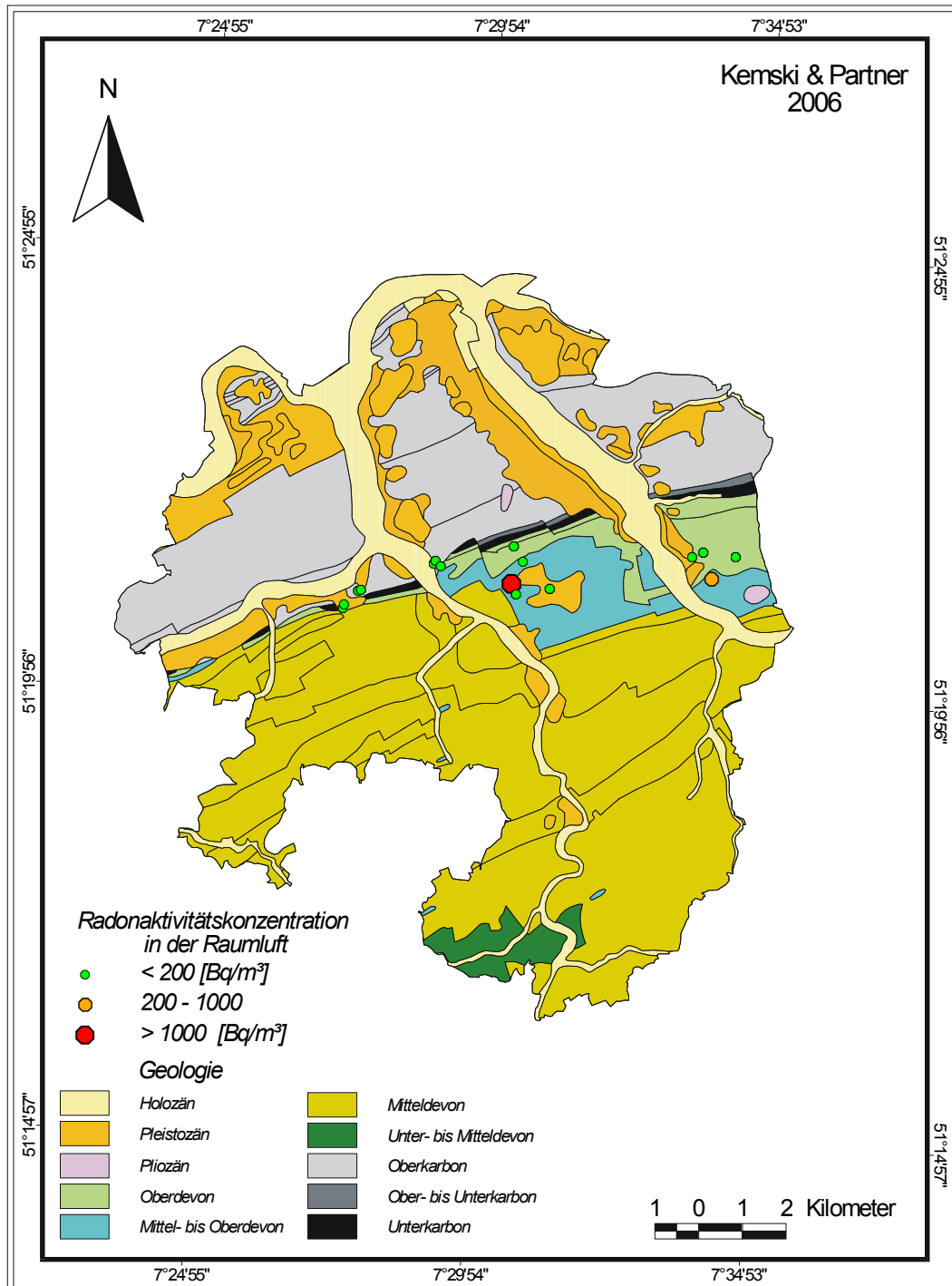


Abbildung 4:  
Messwertverteilung auf geologischer Karte



## 9 Bewertung der Ergebnisse

In allen Räumen mit Radonkonzentrationen unter  $100 \text{ Bq/m}^3$  sind Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentrationen nicht notwendig. Ein zusätzliches Risiko der betroffenen Personen kann aufgrund der vorliegenden epidemiologischen Studien ausgeschlossen werden. Sofern die baulichen Gegebenheiten der übrigen Räume in den betreffenden Gebäuden denen derjenigen Räume entsprechen, in denen die Messungen durchgeführt worden sind, ist u.E. auch hier nicht mit deutlich erhöhten Radonkonzentrationen zu rechnen.

Für die beiden Räume mit Messwerten von  $100$  und  $110 \text{ Bq/m}^3$  kann die oben getroffene Aussage vorbehaltlos übernommen werden.

Der Messwert von  $230 \text{ Bq/m}^3$  in der Heideschule in Hohenlimburg sollte Anlass geben, mittelfristig über Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration nachzudenken. Aufgrund der Höhe der Belastung besteht nur ein geringes zusätzliches Risiko, akutes Handeln ist daher nicht erforderlich. Empfehlungen zum weiteren Vorgehen werden in Kapitel 10 behandelt. Die vorliegenden Informationen zur Bauweise des Gebäudes geben keinen Anhaltspunkt auf eine nicht-geogene Radonquelle.

In der Realschule Emst wurden mit  $150 \text{ Bq/m}^3$  und  $1.500 \text{ Bq/m}^3$  Messwerte gefunden, die unmittelbares Handeln notwendig machen. Bei  $1.500 \text{ Bq/m}^3$  ist von einem deutlichen zusätzlichen Risiko für die Nutzer des Raumes auszugehen. Insofern wurden bereits direkt bei Bekanntwerden der Ergebnisse weitere Empfehlungen an die Stadtverwaltung ausgesprochen (Zwischenbericht vom 8.2.2006 an Herrn Weber, Umweltamt der Stadt Hagen). Auch hier geben die vorliegenden Informationen zur Bauweise des Gebäudes keinen Anhaltspunkt auf eine nicht-geogene Radonquelle.

Die Bewertung der gesundheitlichen Gefährdung durch Radon und seine Folgeprodukte in Gebäuden erfolgt aufgrund einer Dosisabschätzung. Die Radonexposition stellt hierbei das Maß für die Radonbelastung dar. Sie ist das Produkt aus Radonkonzentration und Aufenthaltsdauer.

Bei durchschnittlich 200 Schultagen im Jahr und einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer von 6 Zeitstunden je Schultag ergibt sich eine jährliche Aufenthaltsdauer von maximal 1.200 Stunden. Diese fällt in der Realität noch niedriger aus, da Pausenzeiten und Schulraumwechsel hier nicht berücksichtigt wurden. Als Dosisumrechnungsfaktoren können die Werte der ICRP 65 (1994) herangezogen werden. Diese unterscheidet zwischen Arbeitsplätzen und Wohnräumen. Klassenräume können aufgrund der Nutzung eher mit Wohnräumen verglichen werden. Insofern kann hier ein Umrechnungswert von  $2,43 \times 10^{-6} \text{ mSv pro Bq/m}^3 \times \text{h}$  für Erwachsene angesetzt werden. Für Kinder liegt er um den Faktor 1,5 bis 2,0 höher.



Unter der o.g. Annahme von 1.200 Aufenthaltsstunden im Jahr kann für einen Erwachsenen eine maximale zusätzliche Dosis wie folgt berechnet werden:

Radonkonzentration	zusätzliche Dosis
230 Bq/m <sup>3</sup>	0,7 mSv/a
1.500 Bq/m <sup>3</sup>	4,4 mSv/a

## 10 Zusammenfassung und Empfehlungen

Messwerte unter 100 Bq/m<sup>3</sup> liegen im Normalbereich und geben keinen Anlass zu weiteren orts- oder personengebundenen Untersuchungen.

Messwerte zwischen 100 und 200 Bq/m<sup>3</sup> gelten als leicht erhöht. Einem zusätzlichen Risiko kann durch regelmäßige Lüftung vor der Nutzung der Räume entgegengewirkt werden.

In zwei Objekten (Tab. 1: Objekt 10 und 16) wurden erhöhte bis stark erhöhte Radonkonzentrationen festgestellt. Hier werden folgende konkrete Empfehlungen ausgesprochen:

### Empfehlungen für Realschule Emst (Tab. 1: Objekt 10)

In allen von Personal und/oder Kindern genutzten Räumen sollten kurzfristig Radonmessungen (konservative Abschätzung während der Ferienzeit bei geschlossenen Fenster möglich) durchgeführt werden. Des Weiteren sind in dem hoch belasteten Raum, sowie allen weiteren Räumen mit hohen Messwerten, die im Rahmen einer Messkampagne gefunden werden, die Radoneintrittspfade aufzuspüren und Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration durchzuführen. Dies sollte innerhalb der nächsten 12 Monate erfolgen. Der Raum sollte unmittelbar vor Nutzung stets ausreichend gelüftet werden. Bis zur Durchführung weiterer Maßnahmen (ergänzende Messungen, ggf. Sanierung) sollte vor Beginn des Unterrichtes ca. 10 bis 15 Minuten gelüftet werden, um einen vollständigen Luftaustausch zu gewährleisten. Während der Unterrichtszeiten sollte ebenfalls regelmäßig alle 2 bis 3 Stunden für ca. 5 bis 10 Minuten gelüftet werden, um eine Reduzierung der Radonkonzentration zu erreichen.



### **Empfehlungen für Heideschule in Hohenlimburg (Tab. 1: Objekt 16)**

Der Messraum sollte bei Nutzung regelmäßig belüftet werden. Aus Gründen der Vorsorge sollten weitere von Personal und/oder Kindern genutzte Räume untersucht werden.

Unabhängig davon werden folgende **Empfehlungen allgemeiner Art** ausgesprochen:

Die vorliegenden Messungen wurden in ausgesuchten öffentlichen Gebäuden mit spezieller Nutzung (Kindergärten und Schulen) durchgeführt, die über bestimmten geologischen Einheiten liegen (s. Kap. 2). Es hat sich – wie aus zahlreichen Messungen in Privathaushalten bereits bekannt war (s. Kurzbericht vom 19.11.2004) – bestätigt, dass lokal stark erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden auftreten können. Daher sollten

- auch in anderen öffentlichen Gebäuden Radonmessungen durchgeführt und
- nicht-öffentliche Träger von Kindergärten, Schulen, Bildungsstätten u.ä. über die Problematik des Innenraumschadstoffes Radon aufgeklärt und Radonmessungen empfohlen werden.

Bei der Planung der o.g. Messungen sollten folgende Kriterien beachtet werden:

- Die Messungen sollten sich vorrangig auf das Ausdehnungsgebiet der devonischen Massenkalk konzentrieren.
- Es sollten zunächst Langzeitmessungen der Radonkonzentration über einen Zeitraum von 3 bis 12 Monaten durchgeführt werden.
- Die Messungen sollten in den unteren Etagen (Keller und/oder Erdgeschoss) in Räumen stattfinden, die von Personal und/oder Kindern, Besuchern u.ä. genutzt werden. Es ist nicht zwingend notwendig, in diesem Schritt alle Räume eines Gebäudes zu untersuchen; Messungen in zwei Räumen pro Etage und Gebäude sind ausreichend.
- Zusammen mit den Messungen sollten Daten zur Bauweise und Nutzung der Gebäude sowie zur Anzahl von Personal, Kindern, Besuchern u.ä. erhoben werden.

Da aufgrund der vorhandenen Daten zu erwarten steht, dass über den radonreichen Schichten des Unterkarbon verstärkt Gebäude mit hohen Radonkonzentrationen auftreten werden, sollte Hausbesitzern (insbesondere von älteren, im Erdboden schlecht abgedichteten Häusern) empfohlen werden, im Bereich der unterkarbonischen Schiefer sowie der devonischen Massenkalk Langzeitmessungen der Radonkonzentration in der Raumluft auf eigene Kosten durchführen zu lassen.



## Anlagen

Anlage 1 Fragebogen zur Bauweise und Nutzung des Gebäudes

Bonn, den 29. März 2006

*J. Kemski*

Dr. Joachim Kemski



## Radonexposition in Schulen, Kindergärten u.ä. Einrichtungen

Die Durchführung der Radonmessung orientiert sich an der in Deutschland üblichen Vorgehensweise, die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) empfohlen wird.

Zur Interpretation der Messergebnisse erbeten wir einige wichtige Auskünfte zu den untersuchten Gebäuden und den Aufstellungsorten der Messeinrichtungen (Exposimeter).

Wenn Sie noch Fragen zur Messung haben, wenden Sie sich bitte direkt an die o.g. Adresse.

Wir danken Ihnen für Ihre Unterstützung.

### A Allgemeine Angaben

A 1 Nutzung (z.B.: Schule, Kinderheim) \_\_\_\_\_

Name (z.B.: ABC-Realschule) \_\_\_\_\_

A 2 PLZ, Ort \_\_\_\_\_

Straße, Hausnummer \_\_\_\_\_

A 3 Ansprechpartner \_\_\_\_\_

Name \_\_\_\_\_

Telephon/Fax \_\_\_\_\_

Email \_\_\_\_\_

A 4 Einrichtung besteht aus \_\_\_\_\_

einem Gebäude

mehreren Gebäuden , Anzahl:

A 5 Träger/Eigentümer der Einrichtung \_\_\_\_\_

PLZ, Ort \_\_\_\_\_

Straße, Hausnummer \_\_\_\_\_

A 6 Ansprechpartner \_\_\_\_\_

Name \_\_\_\_\_

Telephon/Fax \_\_\_\_\_

Email \_\_\_\_\_



---

**B Angaben zum Gebäude**

B 1 Gebäudebezeichnung  
(z.B.: Hauptgebäude, Anbau) \_\_\_\_\_

B 2 Bauweise des Gebäudes  
alleinstehend   
mit Nachbargebäuden zusammengebaut

B 3 Wie alt ist das Gebäude?  
exaktes oder geschätztes Baujahr

B 4 Wurde das Gebäude bereits **grundlegend** umgebaut bzw. saniert?  
ja   
und zwar im Jahr   
Art des Umbaus bzw. der Sanierung (z.B.: Einbau neuer Fenster,  
Ausbau des Kellers)

---

nein   
unbekannt

B 5 Unterkellerung des Gebäudes  
vollständig   
teilweise   
keine

B 6 Verbindung zwischen Keller und Erdgeschoss  
offen (z.B. durchgehendes Treppenhaus)   
geschlossen (z.B. Türen zwischen Geschossen)

B 7 Verbauung von **Natursteinen** zur Konstruktion des Gebäudes (z.B.: Bruchsteine,  
Mehrfachnennungen möglich)  
Granit/Gneis   
Schiefer   
Sandstein   
Kalkstein   
Sonstige \_\_\_\_\_

**C Angaben zu Räumen**

C 1 Wie viele Räume sind im Gebäude vorhanden?

	Keller	Erdgeschoss
weniger als 5 Räume	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 bis 10 Räume	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
mehr als 10 Räume	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C 2 Werden Räume im **Erdgeschoss** durch Personal und/oder Kinder genutzt?

ja

wenn ja, Anzahl der Räume

nein

C 3 Werden Räume im **Keller** durch Personal und/oder Kinder genutzt?

ja

wenn ja, Anzahl der Räume

nein

**D Angaben zu personenbezogener Nutzung (geschätzte Angaben ausreichend)**

D 1 Wie viele **Wochen** pro Jahr ist die Einrichtung geöffnet? ca.

D 2 Wie viele **Stunden** pro Woche ist die Einrichtung geöffnet? ca.

D 3 Wie viel **Personal** hält sich in der Einrichtung auf?

Vollzeitkräfte ca.

Teilzeitkräfte ca.

D 4 Wie viele **Kinder** werden in der Einrichtung betreut?

halbtags ca.

ganztags ca.

---

**E      Angaben zum Exposimeter**

E 1      Exposimetrynummer     

E 2      Gebäudebezeichnung (wie B 1)      \_\_\_\_\_

E 3      Messbeginn, Datum     

E 4      Messende, Datum     

E 5      War die Einrichtung während des Messzeitraumes **außerhalb der Wochenenden**  
längere Zeit geschlossen (z.B.: Ferien, Umbau)?

ja     

wenn ja, von     

bis     

nein     

E 6      Etage     

Keller     

Erdgeschoss     

höhere Etage     

E 7      Bezeichnung des Aufstellungsraumes  
(z.B.: Raum 317, Zeichenraum)      \_\_\_\_\_

E 8      Raumnutzung     

Klassenraum     

Gruppenraum     

Ruhe-/Pausenraum     

Bewegungsraum     

Sonstiges      \_\_\_\_\_

- 
- E 9 Unterkellerung des Aufstellungsraumes
- vollständig
- teilweise
- keine
- E 10 Besitzen die Wände des Aufstellungsraumes Kontakt zum umgebenden Erdreich?
- ja
- wenn ja, Anzahl der Wände
- nein
- E 11 Existieren sichtbare Schadstellen in Boden und/oder Wänden des Aufstellungsraumes?
- ja
- wenn ja, kurze Beschreibung (z.B.: Risse in Wand)
- 
- nein
- E 12 Welche Fenster sind im Aufstellungsraum vorhanden?
- keine
- mit Einfachverglasung
- mit Isolier-/Wärmeschutzverglasung
- andere
- 
- E 13 Anzahl des Personals, das Aufstellungsraum nutzt ca.
- E 14 Aufenthaltsdauer des Personals im Aufstellungsraum
- Tage pro Woche ca.
- maximale tägliche** Aufenthaltsdauer in Stunden ca.
- E 15 Anzahl der Kinder, die Aufstellungsraum nutzen ca.
- E 16 Aufenthaltsdauer der Kinder im Aufstellungsraum
- Tage pro Woche ca.
- maximale tägliche** Aufenthaltsdauer in Stunden ca.