

# Daten zur Nürnberger Umwelt

2. Quartal 2016

April-Mai-Juni

Auszug

Radon –

ein wenig bekannter Luftschadstoff

# Radon – ein wenig bekannter Luftschadstoff

## Entstehung und Vorkommen von Radon

Radon ist ein Edelgas, das sich in extrem niedriger Menge auch in der Luft findet. Andere Edelgase sind Argon (ca. 1 % Anteil an der Luft) – die weiteren Edelgase Neon, Helium und Krypton sind mit Volumenanteilen von jeweils > 1 ppm zu den Spurengasen zu rechnen. Noch seltener ist Xenon (Volumenanteil < 0,1 ppm). Radon ist das seltenste Edelgas in der Luft (mittlerer Volumenanteil 1:1021), lässt sich aber wegen seiner radioaktiven Eigenschaften sehr gut bestimmen.

Aus manchem Gestein tritt auf Grund der in der Erde stattfindenden, natürlichen radioaktiven Zerfallsprozesse Radon aus, das sich in den Kellerräumen anreichern kann. In der Erdkruste ist das natürliche Radionuklid Uran-238 enthalten. Als Zwischenprodukt der Zerfallsreihe von Uran-238 entsteht (über Radium-226) das radioaktive

Edelgas Radon-222. Das Gas ist farb-, geruch- und geschmacklos und besitzt eine Halbwertszeit von 3,8 Tagen. Radon kommt in unterschiedlichen Konzentrationen in Gesteinen und Böden auf der ganzen Welt vor.

Radon geht mit anderen Elementen kaum Verbindungen ein und ist daher sehr mobil. In der bodennahen Luft werden im Freien in Deutschland, bedingt durch den hohen Verdünnungseffekt beim Austritt aus dem Untergrund, nur geringe Radon-Konzentrationen von 3 bis 40 Becquerel pro Kubikmeter ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) gemessen. Der Mittelwert liegt in der bodennahen Außenluft bei ca.  $9 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . In Gebäuden (oder in Bergwerken) kann sich Radon in der Luft anreichern, was in der Regel deutlich höhere Konzentrationen zur Folge hat und damit zu radioaktiver Belastung führt.

## Gesundheitliche Auswirkungen von Radon

Gesundheitliche Auswirkungen von Radon wurden zuerst bei Bergarbeitern unter Tage beobachtet. Dabei geht die gesundheitliche Gefährdung weniger von Radon selbst, sondern von dessen eigenen radioaktiven Zerfallsprodukten aus (radioaktive Isomere der Elemente Polonium, Wismut und Blei). Diese sind überwiegend an die in der Luft befindlichen Staubteilchen und Aerosole angelagert. Beim vollständigen Zerfall in der Lunge entsteht energiereiche Alphastrahlung, welche die Zellen des Bronchialepithels schädigen kann. Dieser Prozess fördert die Entstehung von Lungenkrebs.

Das Gesundheitsrisiko durch Radon wird durch nationale und internationale Fachgremien aktuell wie folgt eingeschätzt: Radon in Wohnungen ist als eine der kausalen Ursachen von Lungenkrebs bei Rauchern und bei Nichtrauchern anzusehen. Dabei besteht ein annähernd linearer Expositions-Wirkungs-Zusammenhang. Pro Anstieg der Radonkonzentration um  $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$  nimmt das Lungenkrebsrisiko um ca. 10 bis 16 % zu. Nach neueren Abschätzungen werden in Deutschland ca. 5 % aller Lungenkrebs-Todesfälle durch Radon in Wohnungen verursacht.

## Radonkonzentrationen in Gebäuden

Der Mittelwert der Radonkonzentrationen in Gebäuden in der Europäischen Union liegt bei ca. 59 Bq/m<sup>3</sup>; für Deutschland wird die mittlere Radonkonzentration mit ca. 49 Bq/m<sup>3</sup> angegeben. Allerdings bestehen große regionale Unterschiede, da die geologischen Voraussetzungen für die Radonbildung je nach Gesteinscharakter im Untergrund höchst verschieden sein können.

Neben Gebieten mit Radongehalten des Baugrundes ohne Bedeutung für den Strahlenschutz (ca. 20% der Fläche Deutschlands mit Bodenkonzentrationen unter 10 000 Bq/m<sup>3</sup>), gibt es auch ausgewiesene Radongebiete, in denen ein gestaffeltes Schutzkonzept für Gebäude gegen erhöhte Radonexposition zu empfehlen ist (ca. 9 % der Fläche mit Bodenkonzentrationen über 80 000 Bq/m<sup>3</sup>). Regionen mit hoher Belastung des Bodens sind in Deutschland die Mittelgebirgsregionen wie Eifel, Schwarzwald, Bayerischer Wald, Fichtelgebirge, Harz, Thüringer Wald und Erzgebirge.

Die Radon-Konzentrationen in der Bodenluft wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz in einer Radonkarte für Deutschland dargestellt ([http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon\\_boden/radonkarte.gif](http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.gif)). Für die Region Nürnberg (Nürnberger Keuperbecken) werden in der Radonkarte Bodenluft-Konzentrationen von 20 000 bis 40 000 Bq/m<sup>3</sup> prognostiziert. Aufgrund des groben Kartenmaßstabes sind daraus aber keine Empfehlungen für Baugebiete oder gar für einzelne Gebäude abzulesen.

Der Übertritt von Radongas aus dem Baugrund in die Innenraumluft von Gebäuden variiert stark zwischen einzelnen Häusern. Neben der Bauweise der Bodenplatte und der Art der Beschichtungen zum Feuchteschutz im erdberührenden Bereich sind das Auftreten von Spalten und Rissen sowie die Ausführung von Rohr- und Kabeldurchlässen maßgebliche Einflussfaktoren für die Höhe der Radonkonzentration in der Innenraumluft. Die aus dem Verhältnis der Radonkonzentration im Baugrund und der korrespondierenden Konzentration in der Innenraumluft ermittelten Transferfaktoren liegen bei ca. 1,4 ‰ für das Erdgeschoss und bei ca. 2,3 ‰ für den Keller (Medianwerte). Die 90-Perzentile der genannten Geschosse liegen bei 5,3 bzw. 9,3 ‰.

Durch warme, im Gebäude aufsteigende Luft entsteht eine Sogwirkung, die kalte Bodenluft in das Gebäude saugt. Über Treppenhäuser, Kamine, Aufzugschächte oder sonstige Steigkanäle kann radonbelastete Luft auch höhere Stockwerke erreichen, wobei sich aber zunehmend Verdünnungseffekte einstellen.

Das Zusammenspiel einer großen Anzahl potentieller Einflussfaktoren ist bei jedem Gebäude individuell verschieden. Daher sind deutliche Unterschiede der Radon-Konzentrationen in der Innenraumluft auch in unmittelbar benachbarten Gebäuden möglich. Zudem sind in den einzelnen Gebäuden relevante Konzentrationsschwankungen für Radon in der Innenraumluft mit unterschiedlichen Tagesgängen messbar – das gilt auch für die Freisetzung aus dem Boden, die mit steigender Bodentemperatur zunimmt.

## Referenzwerte für Radon in der Innenraumluft

Die Empfehlungen der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK, 2004) zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon in Gebäuden treffen auf der Basis von Jahresmittelwerten folgende Unterteilung:

### **bis 100 Bq/m<sup>3</sup>**

Es sind keine baulichen Maßnahmen erforderlich.

### **von 100 bis 400 Bq/m<sup>3</sup>**

Es werden einfache bauliche Maßnahmen zur Einschränkung der Radonbelastung empfohlen („Heimwerker-Maßnahmen“).

### **von 400 bis 1000 Bq/m<sup>3</sup>**

Es werden mittlere bauliche Maßnahmen zur Einschränkung der Radonbelastung empfohlen (beispielsweise im Zuge geplanter baulicher Maßnahmen bei Instandsetzungen).

### **über 1000 Bq/m<sup>3</sup>**

Hier beginnt der Konzentrationsbereich, bei dessen Vorliegen aufwendigere Maßnahmen zur Reduzierung der Radon-Konzentration in Gebäuden ergriffen werden sollten (Sanierungsprojekte).

Zur Zeit gibt es in Deutschland keine nationalen gesetzlichen Radon-Grenzwerte für Innenräume, jedoch besteht die Verpflichtung, die EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM in nationales Recht umzusetzen. Die Richtlinie weist einen Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> aus, der zukünftig für Innenräume und für Arbeitsplätze gelten soll.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) spricht sich für einen Referenzwert für Radon von 100 Bq/m<sup>3</sup> aus, der eingehalten werden sollte, sofern es die regionalen geologischen Gegebenheiten erlauben. Auch in geologisch ungünstigen Gebieten sollten aber laut WHO 300 Bq/m<sup>3</sup> in der Innenraumluft nicht überschritten werden

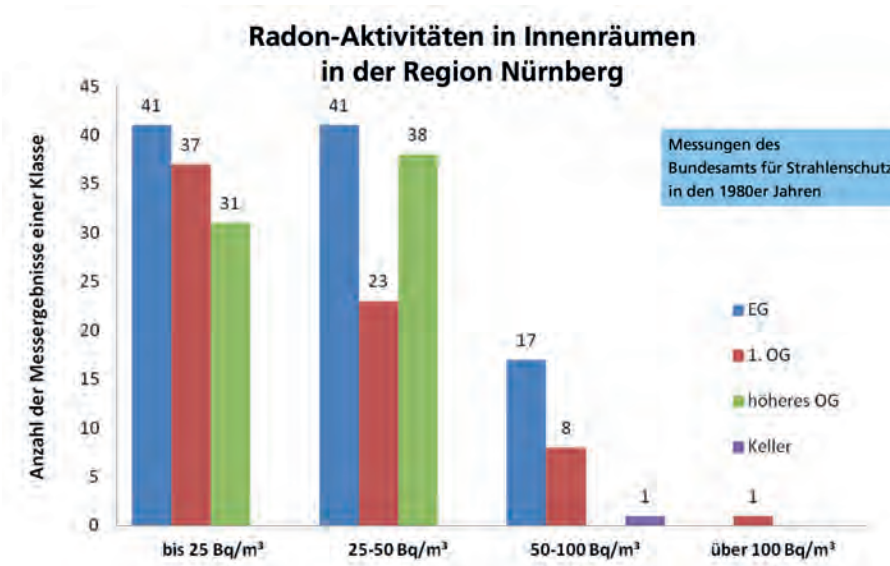
## Die Situation im Stadtgebiet von Nürnberg

Durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurden in den 1980er Jahren bundesweite Erhebungen zur Radonbelastung in Gebäuden durchgeführt. Im Zuge dieser Messkampagne wurden auch im Stadtgebiet von Nürnberg und im Kreis Nürnberger Land Langzeitmessungen über mehrere Monate bis zu einem Jahr durchgeführt. Neben Erdgeschoss wurden auch in den Obergeschossen der Gebäude die Radonkonzentrationen gemessen. Die Messungen wurden anonymisiert mit einer Objektschlüsselnummer durchgeführt, so dass aus den Messdaten nachträglich kein räumliches Verteilungsmuster an Hand von geographischen Koordinaten oder von Adressen zu erstellen ist.

Als ergänzende Informationen wurden zudem die Hausart (Ein-/Mehrfamilienhaus), die Bauweise, der Unterkellerungsanteil sowie das Baujahr (in den Klassen „vor 1900“, „1901-1947“, „1948-1975“ und „nach 1975“) aufgenommen.

Insgesamt stehen für die Region Nürnberg 238 Messergebnisse zur Radonbelastung der Innenraumluft zur Verfügung. Die Messergebnisse wurden durch das Bundesamt für Strahlenschutz auf Nachfrage an SUN/U in digitaler Form übergeben.

Die Auswertung der Messdaten des Bundesamtes für Strahlenschutz für die Region Nürnberg ist in der Abbildung auf der rechten Seite dokumentiert.



### Die in der Abbildung zusammengefassten Messdaten aus den 1980er Jahren lieferten folgende Aussagen:

- Von 238 Messungen in Innenräumen liegt nur ein einziger Messwert über 100 Bq/m³. Der in einem 1. Obergeschoss ermittelte Wert von 239 Bq/m³ ist als Ausreißerwert einzustufen und ohne genauere Kenntnis der Messumgebung nicht einzuordnen.
- Die Mehrzahl der Messungen (89 %) liegen im Konzentrationsbereich unter 50 Bq/m³, 46 % aller Messwerte liegen sogar unter 25 Bq/m³.
- Erwartungsgemäß dominieren in der Gruppe von 50 bis 100 Bq/m³ die Messungen aus den Erdgeschossen und aus dem Keller gegenüber den Obergeschossen. Höhere Obergeschosse sind in diesem Konzentrationsbereich nicht mehr vertreten.

Aus den Messungen der 1980er Jahre des BfS lässt sich für die Region Nürnberg zusammenfassend kein erhöhtes Gefährdungspotential hinsichtlich Radonbelastungen in Innenräumen ableiten.

Auf Grund einer entsprechenden Beschlussfassung des Umweltausschusses hat der Laborbetrieb der Stadtentwässerung und Umweltanalytik Nürnberg (SUN/U) zwischen Oktober 2014 und Februar 2016 in 25 Schulen und Kindertagesstätten im Nürnberger Stadtgebiet Messungen zu den Raumluftbelastungen durch radioaktives Radon-222 durchgeführt.

Die Auswahl von Untersuchungsobjekten hatte zum Ziel, im Sinne einer Worst-Case-Studie Gebäude im Stadtgebiet zu benennen, welche aufgrund ihres Baujahrs und der damit verbundenen Bauart sowie aufgrund von Unterkellerung potentiell höhere Radon-Aktivitäten in der Innenraumluft erwarten lassen. Außerdem war eine Erfassung aller relevanten geologischen Einheiten, die den oberflächennahen Untergrund im Stadtgebiet bilden, durch die Objekt-Auswahl sicherzustellen.

In den ausgewählten Gebäuden wurden in der Regel drei Passivsammler für Radon-222 für die Dauer von 12 Monaten, beginnend ab Oktober 2014, ausgelegt. Zusätzlich wurden zwei Passivsammler in den Felsengängen des Burgbergs platziert, um Informationen über die Radonemissionen des dort auftretenden Bursandsteins zu gewinnen. Insgesamt wurden im Rahmen des Projektes 90 Langzeit-Exposimeter (Passivsammler) eingesetzt, von denen am Ende der Messperiode 89 ausgewertet werden konnten.

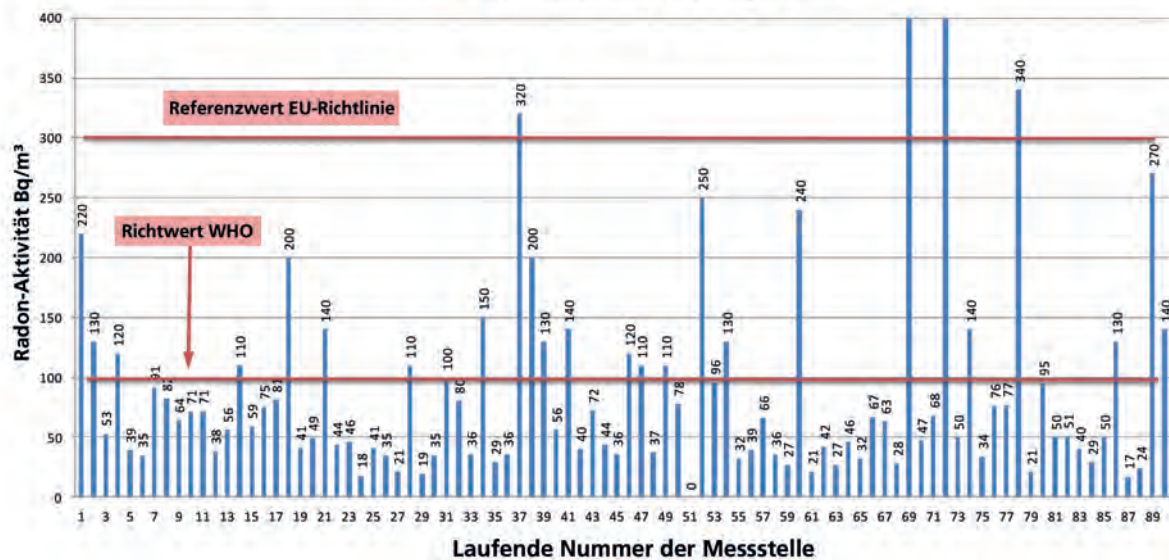
Nach Vorliegen der Ergebnisse aus den Exposimeter-Messungen wurden in zwei auffälligen Gebäuden vertiefende Untersuchungen mit einem digitalen Radon-Messgerät durchgeführt.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte durch den Vergleich mit dem Referenzwert der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM von 300 Bq/m³, der bis 2018 in den Mitgliedstaaten in nationales Recht umzusetzen ist. Zusätzlich wird auch Bezug genommen auf den (allerdings nicht rechtlich bindenden) Vorsorgewert der WHO von 100 Bq/m³.

## Die Untersuchungsergebnisse 2014 / 2016

Mit den durchgeführten Untersuchungen zu Radon- Aktivitäten in Innenräumen städtischer Schulen und Kindertagesstätten wurden trotz des gewählten Worst-Case-Ansatzes überwiegend unauffällige Messergebnisse ermittelt:

**Ganzjährige Mittelwerte der gemessenen Radon-Aktivitäten  
Messbereich bis 400 Bq/m<sup>3</sup>**



- In Erd- und Obergeschossen wird der EU-Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> in keinem der untersuchten Räume überschritten.
- Mit Ausnahme eines einzigen Raumes wird auch der Vorsorgewert der WHO (von 100 Bq/m<sup>3</sup>) in Erd- und Obergeschossen eingehalten. Die Prognose des Bundesamtes für Strahlenschutz von Überschreitungen des WHO-Referenzwertes in ca. 15-20% der Erdgeschosse älterer, unterkellerten Gebäude (Baujahr vor 1975) im Stadtgebiet wurde mit den aktuellen Messungen damit nicht bestätigt. Die Quote der Überschreitungen liegt in der aktuellen Messkampagne bei nur 2,5%.
- In Kellergeschossen und Tiefparterre-Räumen wird in 8,5% der Fälle der EU-Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> überschritten (4 von 47 Messpunkten). Es handelt sich sämtlich um nicht dauerhaft genutzte Technik- oder Lagerräume.
- Der Vorsorgewert der WHO von 100 Bq/m<sup>3</sup> wird in den Kellergeschossen und Tiefparterres in 49% der Proben (23 von 47 Messpunkten) überschritten. Dabei handelt es sich aber nur in 3 Fällen um fachlich genutzte Räume (Werkräume).
- In regelmäßig genutzten Räumen wird der Referenzwert der EU (300 Bq/m<sup>3</sup>) in allen Proben sicher eingehalten. Der Vorsorgewert der WHO (100 Bq/m<sup>3</sup>) wird in insgesamt 4 genutzten Räumen (9% aller untersuchten Aufenthaltsräume) leicht überschritten
- In zwei Proben aus ungenutzten Kellerräumen, also in 4% aller untersuchten Räume in Untergeschossen, wurden deutlich erhöhte Radon-Aktivitäten von mehr als 1.000 Bq/m<sup>3</sup> festgestellt.
- Der Medianwert der Radon-Aktivität in Erd- und Obergeschossen liegt in der Messkampagne 2014/2015 bei 39 Bq/m<sup>3</sup>. Dieser Befund übersteigt die Werte der Studie des BfS aus den 1980er Jahren (BfS-Median Erdgeschosse 28 Bq/m<sup>3</sup>, 1. Obergeschosse 24 Bq/m<sup>3</sup>, höhere Obergeschosse 26 Bq/m<sup>3</sup>). Eine direkte Vergleichbarkeit im Sinne einer Trendaussage ist aber aufgrund der unterschiedlichen zugrundeliegenden Datensätze nicht gegeben.
- Die Messergebnisse differieren signifikant über die Lage der Räume in den unterschiedlichen Ebenen der Gebäude (KG, EG, OG). Ein Einfluss des geologischen Untergrundes im Stadtgebiet (verschiedene Sandsteinformationen, quartäre fluviatile Talfüllungen, quartäre Flugsandfelder) ist anhand der Messdaten hingegen nur bedingt zu erkennen.

## Keine kritische Belastung in Nürnberg

Aus der Gesamtheit der in Nürnberg seit 1980 erhobenen Befunde zur Radon-Belastung im Untergrund und in Gebäuden kann der Schluss gezogen werden, dass im Stadtgebiet hinsichtlich der geologischen Gegebenheiten eine hohe Sicherheit bezüglich

lich möglicher Radon-Belastungen der Bodenluft gegeben ist. Sekundäre Radonquellen, wie sie zum Beispiel bestimmte Baustoffe in Innenräumen darstellen, sind aber insbesondere bei älteren Gebäuden nicht gänzlich auszuschließen