

# UMWELTANALYSE ZUR STRAHLENBELASTUNG DURCH RADON IN SÄCHSISCHEN GEBÄUDEN UND AUSWIRKUNGEN DER ENEV - EIN ALTES PROBLEM MIT NEUEN DIMENSIONEN

## ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF RADIATION EXPOSURE BY RADON IN SAXON BUILDINGS AND IMPACT OF THE ENEV - AN OLD PROBLEM IN A NEW DIMENSION

Jan Gottwald<sup>1)</sup>

Nico Köter<sup>2)</sup>

Lutz Schneider<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Stoller Ingenieurtechnik GmbH, Dresden

<sup>2)</sup> TU Bergakademie Freiberg

### **Zusammenfassung**

*Radon in Gebäuden wird seit den 1990er Jahren intensiv untersucht und zeigt insbesondere auch in Sachsen zum Teil sehr hohe Strahlenbelastungen für die Bewohner in Wohngebäuden. Auch die geplante Änderung der Radon-Referenzwerte von 100 Bq/m<sup>3</sup> auf 300 Bq/m<sup>3</sup> (bei einer eventuellen 1:1-Umsetzung der EU-Empfehlungen in deutsches Recht) würde die Situation in den ausgewiesenen Gebieten mit hoher Radonverfügbarkeit nicht ansatzweise entspannen, da die verpflichtenden Maßnahmen zur Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV) zusätzlich signifikante Strahlenbelastungen erzeugen können, falls nicht gleichzeitig ein umfassender Radonschutz realisiert wird.*

*Anhand von Radon-Langzeitmesswerten in Sachsen aus den neunziger Jahren vor der Einführung der EnEV soll aufgezeigt werden, welche Konsequenzen ggf. zu erwarten wären und Abschätzungen zum Sanierungsaufwand gegeben werden.*

### **Summary**

*Radon in buildings is being widely studied since the 1990s. These studies have revealed some cases of very high radiation exposure for the inhabitants of residential buildings in Saxony in particular. Even a proposed raising of the radon reference values from 100 Bq/m<sup>3</sup> to 300 Bq/m<sup>3</sup> (in the case of an eventually 1:1 implementation of the EU recommendations into German law), would not even slightly aid the situation in the designated areas with high radon availability, as the standards of the Energieeinsparverordnung (Energy Saving Ordinance, EnEV) can result in significant radiation exposure, if no comprehensive radon protection is implemented.*

*On the basis of long-term radon measurements in Saxony from the nineties, before the introduction of the EnEV, this report will show potential outcomes and estimate the extend of suitable remediation measures.*

## 1. Radon in Häusern

Die gesundheitliche Gefährdung durch die Inhalation von Radon in Gebäuden ist mittlerweile ein weltweit viel beachtetes Problem. Abschätzungen aus international gepoolten Studien haben ergeben, dass ca. 8 % aller Lungenkrebsfälle in Europa auf Radon zurückzuführen sind (das entspricht allein in Deutschland etwa 3.000 Fällen). In diesen Studien wurde auch ein statistisch signifikantes Lungenkrebsrisiko ab ca. 150 Bq/m<sup>3</sup> abgeleitet [1]. Trotzdem wird die Gefahr, die durch Radon ausgeht, massiv unterschätzt. Viele Menschen sind sich nicht bewusst, dass sie – sowohl zu Hause als auch am Arbeitsplatz – einer teilweise stark erhöhten radioaktiven Dosis ausgesetzt sind.

In Sachsen hat die Radonproblematik aufgrund der geogenen Bedingungen eine besondere Bedeutung, da hier zum Teil in dicht besiedelten Regionen hohe Konzentrationen in den Gebäuden auftreten. Und so wurden vor allem in den 1990er Jahren umfangreiche Mess- und Sanierungsprogramme gestartet und durchgeführt, um diese Problematik zu quantifizieren und entsprechende Maßnahmen zu erarbeiten und im Rahmen von Förderprogrammen Problemsituationen zu mindern. In diesen Programmen konnte bestätigt werden, dass es vor allem im Süden von Sachsen Regionen gibt, in denen eine erhöhte Radonkonzentration in Gebäuden häufiger auftreten kann. So müssen bei bis zu 30 % der gemessenen Gebäude teilweise umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, um die Radonkonzentration zu senken, da ansonsten durchaus Dosisbelastungen für die Bewohner erreicht werden können, die als gesundheitsgefährlich einzuschätzen sind und oberhalb des Radonkonzentrationswertes von 150 Bq/m<sup>3</sup> liegen.

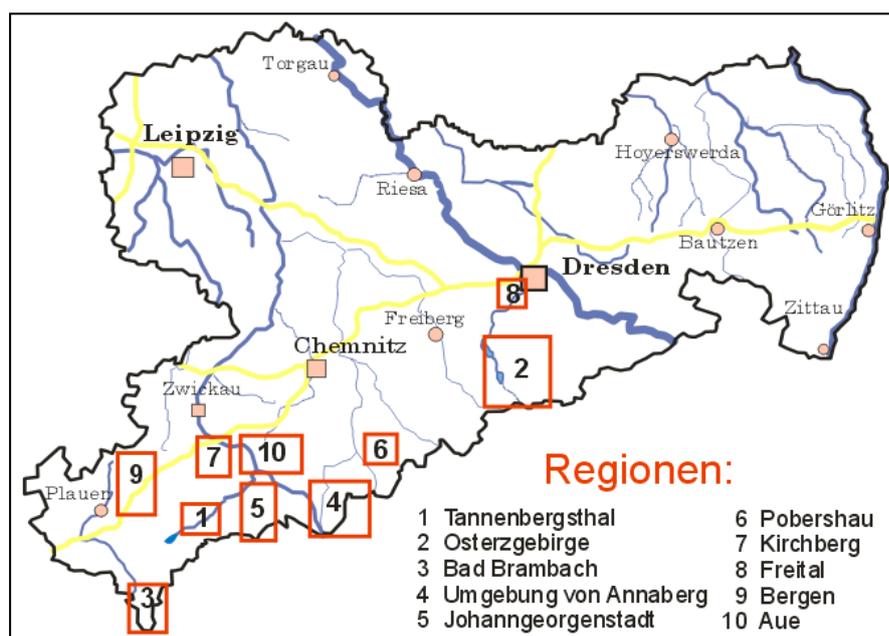
Daher wurde bereits Mitte der 1990er Jahre in Sachsen ein Förderprogramm gestartet, welches Bewohnern von Gebäuden, in denen stark erhöhte Konzentrationen gemessen wurden, finanzielle Unterstützung bei der Sanierung zusicherte. Nachdem dieses Programm allerdings im Jahr 2000 auslief, wurde es nicht mehr weitergeführt bzw. neu gestartet.

Zusätzlich wurden mit der seit dem 1. Februar 2002 in Kraft getretenen Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) wichtige Aspekte definiert, die bei der Sanierung von Gebäuden einen großen Einfluss auf die Radonkonzentration haben können. Durch diese werden spezielle bautechnische Standardanforderungen zum effizienten Betriebsenergieverbrauch vorgeschrieben, was meist mit erhöhter Gebäudedichtheit einhergeht. Werden bei einer solchen Baumaßnahme allerdings die Bedingungen bzgl. der Radonbelastung nicht im ausreichenden Maße bedacht, kann es hinterher zu einer deutlichen Steigerung der Radonkonzentration kommen. Untersuchungen haben gezeigt, dass je nach Wärmeschutz-Maßnahme die Belastung um Faktoren von 2 bis 10 erhöht wird, wenn keine Maßnahmen zum Radonschutz bedacht werden.

Um die gesundheitlichen Auswirkungen einer erhöhten Radonkonzentration besser beurteilen zu können, wird in den folgenden Betrachtungen die Radonkonzentration an geeigneten Stellen in eine effektive Dosis umgerechnet. Diese Umrechnung erfolgt auf Grundlage der Empfehlung der International Commission of Radiation Protection (ICRP), wie sie in der *Publication 115* gegeben wurde. Gemäß dieser Empfehlung entspricht eine Radonkonzentration von 300 Bq/m<sup>3</sup> einer effektiven Dosis von 18 mSv/a. Daraus ergibt sich, dass eine Dosis von 6 mSv/a (das entspricht dem Grenzwert für überwachungspflichtige Tätigkeiten nach Kategorie B gemäß Strahlenschutzverordnung) bereits bei einer Radonkonzentration von 100 Bq/m<sup>3</sup> erreicht ist.

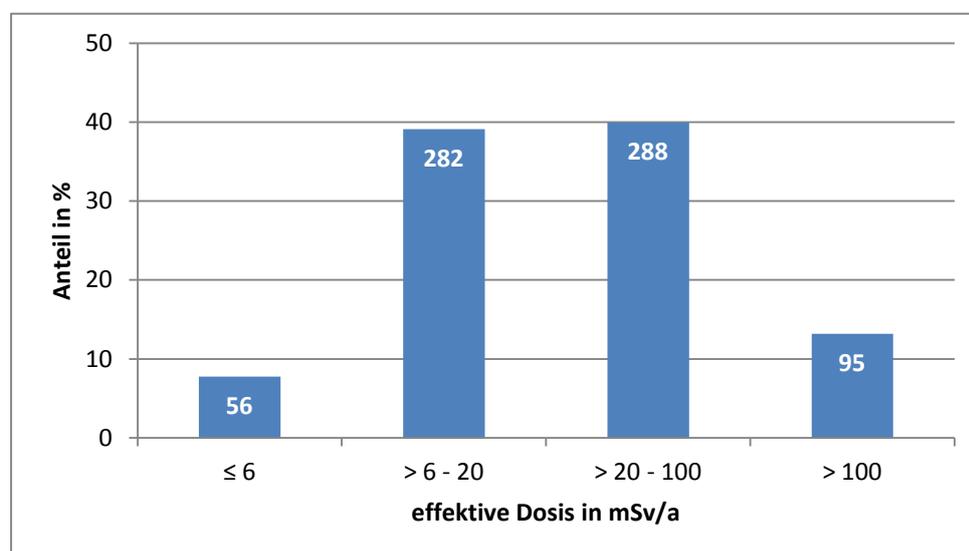
## 2. Auswertung und Vergleich der Daten

In den Jahren 1996/97 wurde durch die Stoller Ingenieurtechnik GmbH im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie das Projekt „Konzeption zur Umsetzung/Realisierung von Maßnahmen zur Ermittlung und Minderung von Radonkonzentrationen in Gebäuden“ realisiert [2]. In diesem Projekt wurden 721 Langzeitmessungen (LZM) durchgeführt, wobei 246 Messungen im Frühjahr 1996 und 475 Messungen im Herbst 1996 über einen 3-Monats-Zeitraum realisiert wurden. Dabei wurde insgesamt in 68 Orten bzw. Ortsteilen in zehn Regionen gemessen. In Abb. 1 sind diese zehn Regionen dargestellt.



**Abb. 1:** Regionen Sachsens, in denen die 721 Langzeitmessungen durchgeführt wurden

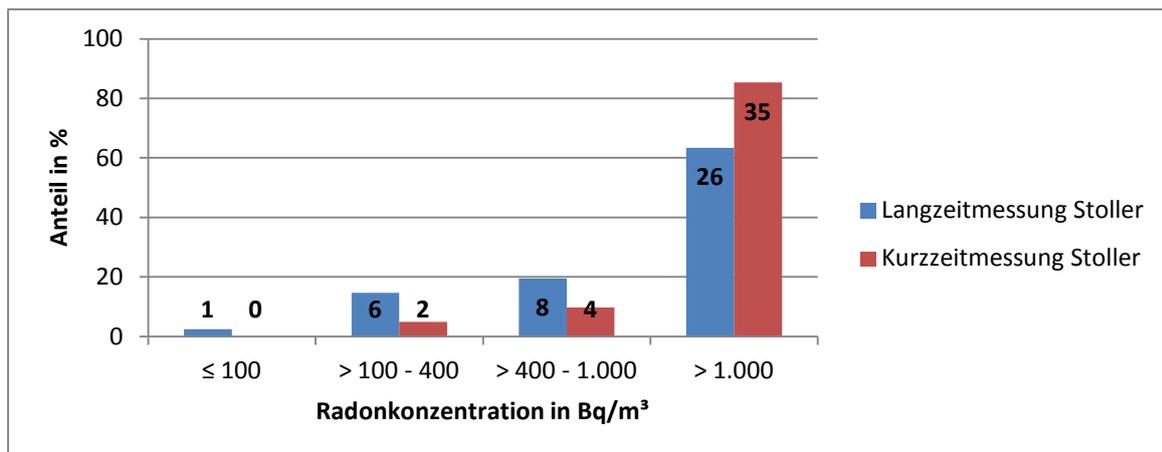
Die eingangs beschriebenen 721 Langzeitmessungen von Stoller sind in folgender Abb. 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in mehr als 90% der Gebäude die ermittelte Dosisbelastung 6 mSv/a erreicht und auch zum Teil deutlich überschreitet. Gemäß den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung wäre bei Arbeitsplätzen in diesen Aufenthaltsbereichen eine Überwachung erforderlich.



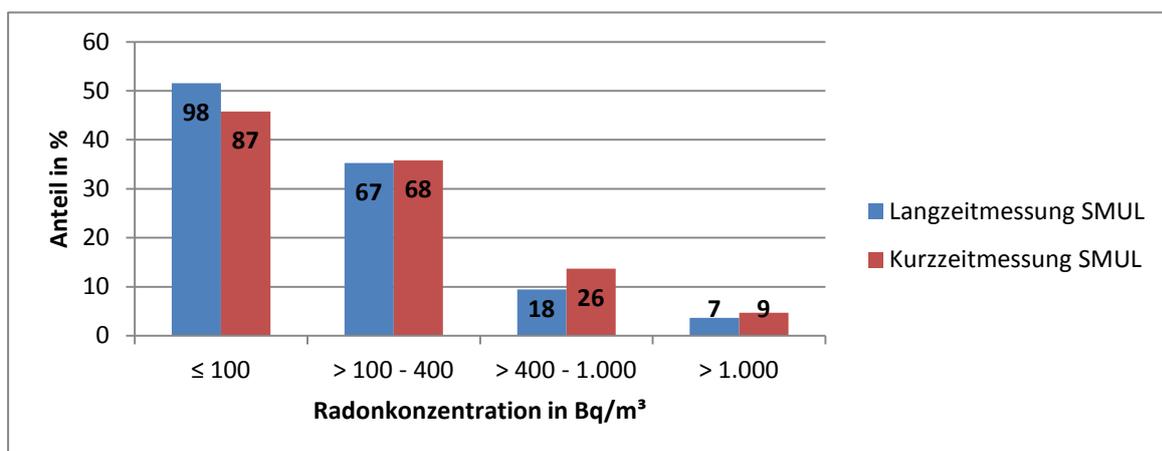
**Abb. 2:** Ergebnisse der 721 Langzeitmessungen von Stoller (Dosis gemäß ICRP Pub. 115)

Eine wichtige Frage, die auch in diesem Projekt geklärt werden konnte, war die Frage, inwiefern eine Kurzzeitmessung (KZM) eine repräsentative Einschätzung des Radonpotenzials in einem Gebäude erlaubt, um auf dieser Grundlage ein weiteres Vorgehen zu planen. Daher wurden in diesem Projekt durch Stoller 41 korrespondierende Messungen realisiert. Dabei sind in einem ersten Schritt Kurzzeitmessungen über einen Zeitraum von 24 Stunden in ausgewählten Objekten durchgeführt worden, später dann in diesen Objekten Langzeitmessungen über einen Zeitraum von drei Monaten.

Die Kurzzeitmessungen wurden über 24 h bei geschlossenen Türen und Fenstern durchgeführt. Dadurch war die Luftwechselrate praktisch minimiert, wobei eine Überschätzung der Radonkonzentration in Kauf genommen wurde. Die Langzeitmessungen über drei Monate im Frühjahr oder Herbst bilden hingegen ein deutlich repräsentativeres Lüftungs- und Wohnverhalten ab. Da die 41 Ergebnisse aufgrund der geringen Anzahl der Daten statistisch nur bedingt aussagekräftig sind, wurden seitens des SMUL weitere korrespondierende Messungen zur Verfügung gestellt. Diese umfassten 190 Kurz- und Langzeitmessungen, hier betrug die Messdauer für die Kurzzeitmessungen allerdings ca. zwei Wochen. Zudem wurden diese Messungen, im Gegensatz zu den 41 Messungen von Stoller, in ganz Sachsen und bei normalem Wohnverhalten durchgeführt. Die Auswertung erfolgte daher zunächst getrennt, Abb. 3 zeigt die entsprechende Darstellung der Stoller-Daten, in Abb. 4 sind die des SMUL dargestellt.



**Abb. 3:** Gegenüberstellung der 41 korrespondierenden Lang- und Kurzzeitmessungen von Stoller



**Abb. 4:** Gegenüberstellung der 190 korrespondierenden Lang- und Kurzzeitmessungen des SMUL

Dass die Messungen von Stoller im Gegensatz zu den Daten des SMUL zu einem großen Teil über 1.000 Bq/m³ anzeigen, ist, wie bereits beschrieben, vor allem darauf zurückzuführen, dass das Projekt von vornherein auf zehn Regionen in Sachsen fokussiert wurde, die aufgrund geogener Bedingungen über ein erhöhtes Radonpotenzial im Boden verfügen. Dennoch zeigt sich übereinstimmend, dass vor allem bei höheren Konzentrationsbereichen eine Tendenz zu einer Überschätzung des Messwertes bei Kurzzeitmessungen vorherrscht, auch wenn die Abweichungen für den Fall dieser Messungen nicht immer sehr hoch sind.

Die Gründe für Abweichungen zwischen Kurz- und Langzeitmessungen, die in manchen Fällen durchaus auch sehr groß werden können, sind vielfältig: Das Öffnen von Fenstern oder Türen sowie die Nutzung des Raumes nimmt über einen kurzen Zeitraum größeren Einfluss, als über einen langen

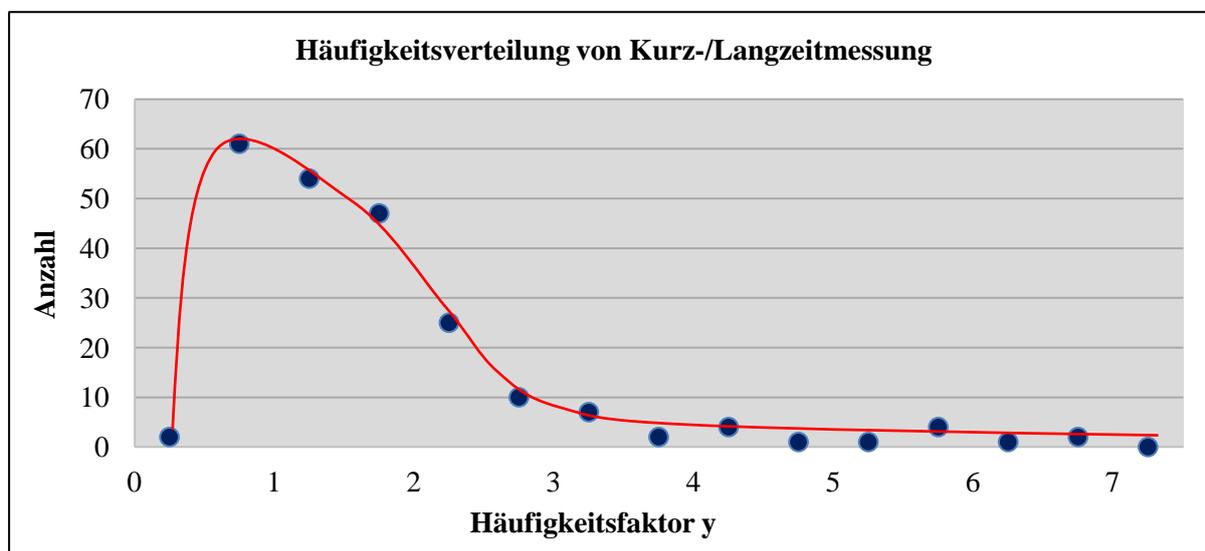
Messzeitraum. Auch Messungen direkt am Radoneintrittsort (bspw. durch falsches Platzieren des Dosimeters) sind möglich und können größere Abweichungen verursachen. Oft werden Messungen auch unter der Annahme des schlimmsten Falles, sprich bei geschlossenen Türen und Fenstern, durchgeführt. Bei den 41 Messungen aus der Studie von 1996/97 war dies zum Beispiel der Fall: Dort wird dann die Radonkonzentration in der Regel bekannter Weise überschätzt und höhere Messwerte sind die Folge. Bei den Messungen des SMUL handelte es sich hingegen um Kurzzeitmessungen über einen Zeitraum von zwei Wochen, was sich auch in einer Annäherung der Messwerte an die der Langzeitmessungen zeigte. Zudem sind auch die vorliegenden SMUL-Langzeitmessungen über drei Monate nicht nur im Frühjahr und Herbst durchgeführt worden und damit ist eine zumindest eingeschränkte Repräsentativität anzunehmen.

Um nun einen direkten Vergleich zwischen Lang- und Kurzzeitmessungen zu prüfen, wurden die korrespondierenden Paare aus den oben aufgeführten 231 Messungen genutzt. Zur Abschätzung der Unterschiede zwischen beiden Messarten ist eine Häufigkeitsverteilung generiert worden. Hierfür werden Faktoren  $x_i$  gemäß Gleichung (1) erzeugt. Um die Häufigkeit von gleichen Faktoren  $y_i$  zu generieren, wird eine Festlegung, wie in Tab. 1 gezeigt, getroffen.

$$x_i = \frac{\text{Kurzzeitmesswert}}{\text{Langzeitmesswert}} \quad (1)$$

**Tab. 1:** Faktorgenerierung für die Häufigkeitsverteilung

Tatsächlicher Faktor $x_i$	Häufigkeitsfaktor $y_i$
$0 < x \leq 0,5$	$y = 0,25$
$0,5 < x \leq 1,0$	$y = 0,75$
$1,0 < x \leq 1,5$	$y = 1,25$



**Abb. 5:** Häufigkeitsverteilung von 231 korrespondierenden Kurz- und Langzeitmesswerten

Für die 231 Messpaare ergibt sich eine Häufigkeitsverteilung wie in Abb. 5 gezeigt. Diese zeigt, dass die Abweichungen zwischen Kurz- und Langzeitmessergebnissen hauptsächlich in einem Bereich zwischen 0,5 und 2,5 liegen mit einer Häufung um den Faktor 0,75, aber auch oft im Bereich zwischen 1 und 2. Eine Kurzzeitmessung gibt demnach häufig den gleichen bis doppelten Messwert im Vergleich zu einer Langzeitmessung. Größere Faktoren bis zu 3 sind zwar nicht auszuschließen, treten aber relativ selten auf. Wahrscheinliche Abweichungen der Messergebnisse in Richtung Faktor 2 oder höher sind vermutlich die Ursache von minimierten Luftwechselraten und des Wohnverhaltens.

Prinzipiell zeigte sich, dass es bei einer Kurzzeitmessung in der Tendenz zwar zu einer Überschätzung des tatsächlich vorhandenen Radonpotenzials kommt. Nichtsdestotrotz ist es durchaus möglich, aus den ermittelten Messdaten einer Kurzzeitmessung eine repräsentative Aussage dahingehend abzugewinnen, in welchem Umfang der Sanierungsaufwand abzuschätzen ist. Ob die Kurzzeitmessung bspw. 50 Bq/m<sup>3</sup>, 500 Bq/m<sup>3</sup> oder 5.000 Bq/m<sup>3</sup> anzeigt, lässt selbst bei einem Fehlerfaktor von 2 den Sanierungsbedarf durchaus abschätzbar werden. Ferner lässt sich aus einem solchen Ergebnis auch ableiten, welche weiteren Aktivitäten zu planen sind (z.B. eine Radoneintrittspfad erkundung).

### 3. Sanierungsmaßnahmen und Einfluss der EnEV

Basierend auf der Empfehlung des BMUB wird eine Konzentration von 100 Bq/m<sup>3</sup> als Zielwert bei der Sanierung von Gebäuden definiert [3], auch die WHO präferiert diesen Zielwert [4]. Gemäß ICRP Konversion entspricht dies einer effektiven Dosis von 6 mSv/a.

In verschiedenen Studien wurden unter anderem Messungen aus sächsischen Gebäuden miteinander verglichen, die Modernisierungsmaßnahmen hinsichtlich verschiedener Maßnahmen realisiert hatten. Dabei erfolgten Messungen vor und nach der Sanierungsmaßnahme. Die Ergebnisse zeigen, dass es dabei zu einer Erhöhung der Radonkonzentration in den Gebäuden kam, hier wurden nach dem Einbau neuer Fenster Faktoren in einem Bereich zwischen 0,84 bis 4,80 (Mittelwert  $\approx$  3) erzielt. Wenn zudem nicht nur Fenster erneuert, sondern ein Haus komplett saniert wird, ohne dabei den Radonschutz zu beachten, können sich die Faktoren sogar noch deutlich erhöhen. [5] Verschiedene Ergebnisse zeigen hier Erhöhungen der Radonkonzentration um Faktoren von zwei bis acht [6].

Werden bei der Durchsetzung der EnEV Modernisierungsmaßnahmen ergriffen ohne entsprechende Maßnahmen zum Radonschutz zu beachten, kann es folglich zu einem Anstieg der Radonkonzentration im Gebäude kommen. Dies soll in den folgenden Betrachtungen näher diskutiert werden. Um die Datenlage repräsentativer zu gestalten, wurden zusätzlich zu den 721 Langzeitmessungen von Stoller in den folgenden Diagrammen 708 vom BfS zur Verfügung gestellte Messwerte mit einbezogen. Diese Langzeitmessungen sind in den gleichen Regionen erhoben worden, wie die von Stoller (siehe Abb. 1), der Messzeitraum betrug jedoch zwölf Monate.

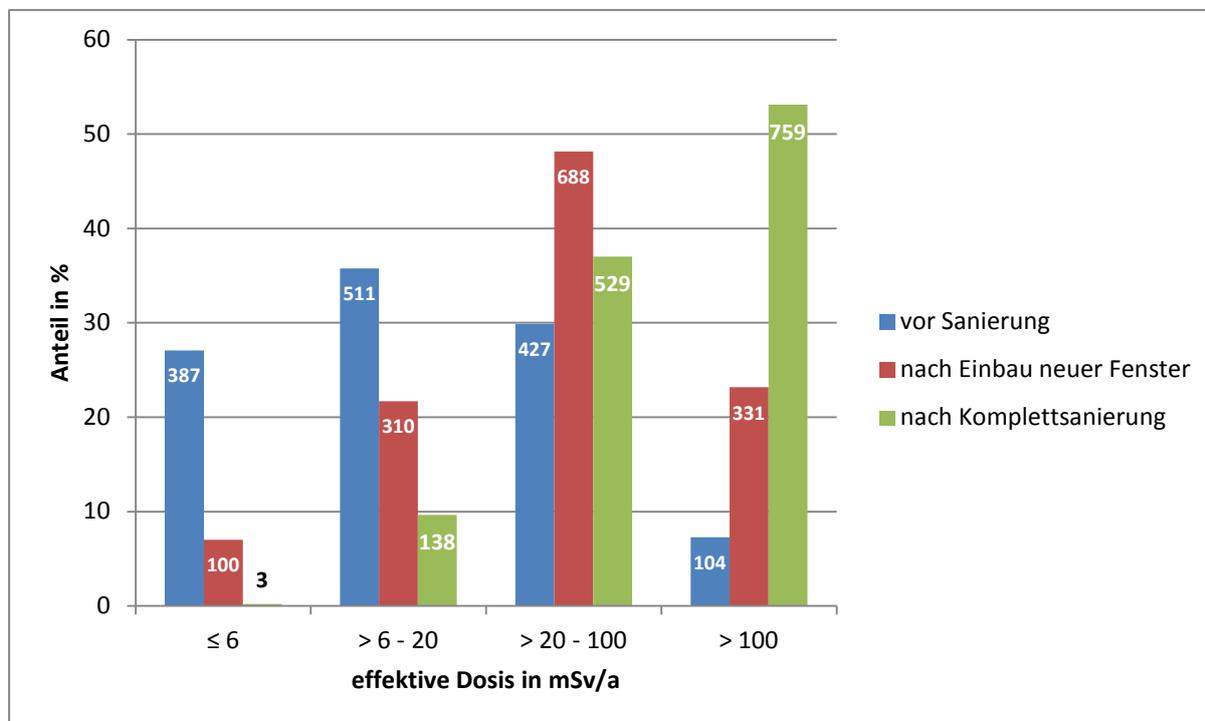
Um die Auswirkungen von Sanierungen nach EnEV abzuschätzen, ist die Radonkonzentration in den folgenden Betrachtungen für die zur Verfügung stehenden 1.429 Langzeitmessungen in Sachsen mit zwei verschiedenen Erhöhungsfaktoren belegt worden: Faktor 3 für den Einbau von neuen Fenstern und Faktor 8 für den Fall einer Komplettsanierung ohne mechanische Entlüftung. Eine Darstellung dieser Ergebnisse ist in folgender Abb. 6 gezeigt. Die Messwerte zur Radonkonzentration wurden wieder gemäß Dosiskonversion der ICRP in eine effektive Dosis umgerechnet.

Während vor der Sanierung in mehr als einem Viertel der betroffenen Gebäude die 6 mSv/a nicht überschritten wurden, sank dieser Anteil nach den durchgeführten Maßnahmen auf weniger als ein Zehntel der Gebäude beim Einbau neuer Fenster. Im Fall einer Komplettsanierung waren sogar praktisch alle Gebäude betroffen, falls keine Radonschutzmaßnahmen durchgeführt wurden oder lüftungstechnische Änderungen im Gebäude erfolgten.

Die Konzentrationserhöhung durch EnEV-Maßnahmen lässt sich dabei hauptsächlich auf zwei Ursachen zurückführen. Zum einen bleiben oft die Radoneintrittspfade ins Haus bei einer energetischen Sanierung unberücksichtigt. Zum anderen kann das Radon aufgrund der besseren Dichtheit der Gebäudehülle und einer damit einhergehenden geringeren Luftwechselrate nicht mehr so gut entweichen und akkumuliert sich im Gebäude. Als Resultat ergibt sich, wie aus der Abbildung ersichtlich, dass mehr als 90 % der betroffenen Bürger schon nach dem Einbau neuer Fenster ohne Berücksichtigung von Radonschutzmaßnahmen einer erhöhten Dosis ausgesetzt sind und daher radonsenkende Maßnahmen ergreifen müssten, die zum Teil sehr umfassend und komplex ausfallen können. Damit wird auch deutlich, dass EnEV-Maßnahmen immer im Einklang mit Radonschutzmaßnahmen erfolgen sollten, um eine mögliche und teilweise erhebliche Steigerung der Radonkonzentration in den Innenräumen zu vermeiden.

Die Kosten für radonsicheres Bauen bei Neubauten oder dem Durchführen von Radonschutzmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden können stark voneinander differieren. Im Allgemeinen werden

die Kosten der Maßnahme von mehreren Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel der Beschaffenheit des Baugrundes oder der Höhe der Radonkonzentration. Aber auch individuelle, bautechnische Gegebenheiten können Einfluss haben.



**Abb. 6:** Veränderung der Dosisbelastung infolge von EnEV-Maßnahmen für 1.429 Datensätze

Mittlerweile wurde eine Vielzahl an Möglichkeiten erarbeitet, um Radonkonzentrationen im Gebäude zu senken. In der folgenden Tabelle ist eine Gegenüberstellung von Kosten und Wirksamkeit verschiedener Radonschutzmaßnahmen gezeigt [7].

**Tab. 2:** Kosten und Wirksamkeit geeigneter Radonschutzmaßnahmen

Sanierungsmaßnahme	Reduzierungschance	Kosten
Einfache Abdichtung	0 – 25%	Gering
Aufwändige Fußbodenabdichtung	30 – 80%	Mittel
Aufwändige Fußboden- und Wandabdichtung	50 – 90%	Hoch
Kellerentlüftung	50 – 80%	Gering
Unterdruck unter dem Gebäude	10 – 95%	Hoch
Aufwändige Isolierung sowie Unterdruck unter dem Gebäude	bis 99%	Sehr hoch

## 4. Resümee

Im Messprogramm, welches von Stoller 1996/97 durchgeführt worden ist, konnte gezeigt werden, dass, obwohl bei einer Kurzzeitmessung die Radonkonzentration schnell überschätzt werden kann,

viele Kunden im praktischen Betrieb den Sanierungsaufwand recht zuverlässig auf dieser Grundlage einschätzen konnten. Hauptziel dieses Projektes aber war die Ermittlung des Sanierungsaufwandes und eine Abschätzung, um die Zahl der Bewohner zu ermitteln, die von einer erhöhten Strahlenbelastung betroffen sind. Seinerzeit wurde eine Zahl von 800.000 Personen ermittelt [2], eine Abschätzung, die nach verschiedenen statistischen Erwägungen auch durch das SMUL bestätigt wurde (dieses gab in einer Einschätzung von 2004 eine Zahl von 760.000 betroffenen Personen bekannt). Für diese Betroffenen ergaben sich Strahlenbelastungen, die je nach Aufenthaltszeit zum Teil weit über den Grenzwerten der Jahresdosis für beruflich strahlenexponiert arbeitende Personen (max. 20 mSv/a, was rund 330 Bq/m<sup>3</sup> entspricht) liegen und stellen eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung dar, da ab 150 Bq/m<sup>3</sup> mit einem ansteigenden Lungenkrebsrisiko zu rechnen ist.

Anhand der Radoninnenraumbelastung in Gebäuden vor dem Jahr 2000 zeichnet sich ab, dass gegenwärtig bei konsequenter Umsetzung der EnEV ohne Berücksichtigung des Radonschutzes eine gesamtgesellschaftliche Risikoerhöhung absehbar ist. Immerhin wohnte ein Großteil der betroffenen Personen zum Zeitpunkt der Messung noch nicht in einem gemäß EnEV sanierten Haus. Aus den vorangegangenen Überlegungen steht daher zu befürchten, dass die Radonkonzentration bei einer Wiederholung des Messprogrammes deutlich höher ausfallen könnte. Daraus ergibt sich folgender Schluss:

**Bei einer Gebäudesanierung nach EnEV ohne Beachtung des Radonschutzes kann es für die betroffene sächsische Bevölkerung potenziell zu einer erhöhten Exposition durch Radon und Radonfolgeprodukte kommen, die signifikante gesundheitliche Folgen nach sich ziehen könnten, da Dosisbelastungen weit über der Notfalldosis von 100 mSv pro Jahr zu erwarten wären. Es ist deshalb unbedingt auf einen adäquaten Radonschutz hinzuweisen.**

Die Aussagen und Schlussfolgerungen, die in diesem Bericht diskutiert wurden, gründen sich auf einen statistisch auswertbaren Datenbestand, wobei aber immer noch Kenntnislücken bzgl. der Sanierungsauswirkungen und zu regionalen Verteilungen existieren. Das umfasst nicht nur die Gebiete und Regionen im Norden und Osten Sachsens, sondern vor allem die „Problemregionen“ im Süden des Landes. Zudem wäre eine Wiederholung der damaligen Messprogramme sinnvoll, um den Einfluss der EnEV-Maßnahmen stärker zu quantifizieren. Gerade auch im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM sind Entwicklungen zu erwarten, die ein umfassendes Programm zum Radonschutz nicht nur beim Bauen erforderlich machen.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] Darby, S.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, 2004
- [2] Philipps, F., Schneider, L., Haufe, F.: Konzeption zur Umsetzung/Realisierung von Maßnahmen zur Ermittlung und Minderung von Radonkonzentrationen in Gebäuden, LfUG, März 1997
- [3] Vermeidung und Verminderung der Radonbelastung von Innenräumen (Empfehlung des Aktionsbündnisses APUG); Internet: <http://www.apug.de/umwelteinfluesse/strahlung/radonwohnungen.htm> (besucht am 24.08.2015)
- [4] WHO handbook on indoor radon – a public health perspective, 2009
- [5] Conrady, J., Guhr, A., Leißring, B., Nagel, M.: Modelllösung für die Vermeidung erhöhter Werte von Wohnungsradon durch bauliche Energieeinsparmaßnahmen, AZ: 17349, 2004
- [6] Guhr, A., Leißring, B.: Gesundheitsrisiko infolge natürlicher Radioaktivität in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Umwelt-Medizin-Gesellschaft, Februar 2005
- [7] Uhlig, W-R.: Zusammenhang zwischen Luftwechsel und Radonexposition, 2. Sächsischer Radontag, 4. Tagung Radonsicheres Bauen, Hochschule für Wirtschaft und Technik Dresden (FH), S.23ff, 30.09.2008