

Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines Schwellenwertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Peter Bossew

Bernd Hoffmann



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SW-24/18

(Stichtag der Prognoserechnungen: August 2017)

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2017122814454

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, Januar 2018

Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines Schwellen- wertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Peter Bossew

Bernd Hoffmann

INHALT

1	ZUSAMMENFASSUNG	5
2	HINTERGRUND.....	5
3	GRUNDLAGEN.....	5
4	LIMITIERUNG	5
5	VERWENDETE DATEN.....	5
5.1	Innenraummessungen.....	5
5.2	Geogenes Radonpotential	6
5.3	Geologie.....	6
6	TEIL I: PRÄDIKTOR - KARTE DES GEOGENEN RADONPOTENTIALS	7
7	TEIL II: ERMITTLUNG EINES SCHWELLENWERTES DES RP	8
8	ERGEBNIS	9
9	LITERATUR.....	11
10	WEITERFÜHRENDE LITERATUR:	12
11	ANHANG	12
	Abkürzungsverzeichnis	15
	Abbildungsverzeichnis	16
	Tabellenverzeichnis.....	17

1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat eine Prognose der räumlichen Verteilung des Radonpotentials mittels geostatistischer Methoden an empirischen Messdaten durchgeführt. Anhand dieser prognostizierter räumlichen Verteilung sowie vorliegenden Daten der Radoninnenraumkonzentration in Wohnungen wurden mittels Receiver Operating Characteristic (ROC) die Gebiete in Deutschland identifiziert, in denen mit einer vorgegebenen Sicherheit ein erhöhter Anteil von Referenzwertüberschreitungen in Innenräumen entsprechend §121 Absatz 1 StrlSchG zu erwarten ist.

2 HINTERGRUND

Dieser Text soll das prinzipielle Vorgehen beschreiben, wie die vom Bundesamt für Strahlenschutz vorgeschlagene deutschlandweite Prognosekarte des geogenen Radonpotentials abgeleitet wurde. Des Weiteren beschreibt er das Vorgehen, wie ein Schwellenwert des Radonpotentials ermittelt wurde, dessen Überschreitung ein Gebiet nach § 121 Absatz 1 StrlSchG kennzeichnet.

Diese vorgestellte Methode ist dazu geeignet, eine Prognose der Verteilung der Gebiete nach § 121 StrlSchG – im Folgenden kurz mit dem Begriff „Radonvorsorgegebiet“ bezeichnet – in Deutschland zu erarbeiten, die die Anforderungen der Festlegung im Kapitel 3 erfüllt.

3 GRUNDLAGEN

Die Teilnehmer der Bund-Länder-Gespräche zur Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom in nationales Recht haben sich auf folgendes Verständnis festgelegt: Ein Gebiet nach § 121 Absatz 1 StrlSchG ist ein administratives Gebiet, in dem die Wahrscheinlichkeit, dass der Referenzwert der Innenraumkonzentration überschritten wird, um mindestens einen Faktor 3 über der Wahrscheinlichkeit im gesamten Bundesgebiet liegt. Bei dem in § 124 und § 126 StrlSchG festgelegten Referenzwert von 300 Bq/m³ entspricht dies einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von rund 10%. Dabei sollen die Klassifizierungsfehler 1. und 2. Art nicht über 10% liegen, d.h. die Risiken, dass ein Gebiet fälschlicherweise als Gebiet nach § 121 Absatz 1 StrlSchG deklariert wird (Fehler 1. Art), und das Risiko, ein Gebiet irrtümlich nicht zu deklarieren, obwohl es eines ist (Fehler 2. Art), sollen höchstens 10% betragen. Da in einer binomialen Klassifizierung (Radongebiet ja/nein) die beiden Fehlerarten nicht unabhängig sind, führt die Forderung de facto zu einer trinomialen Klassifizierung mit einer „Zwischenklasse“, deren Zugehörigkeit nach den Kriterien sowie gemäß Datenlage nicht entscheidbar ist.

4 LIMITIERUNG

Auf Grund der Qualität und Quantität der vorhandenen Daten ließ sich nach methodischem Stand des Wissens zur Zeit der Rechnung (2012-2016) eine robuste deutschlandweite Prognose nur in einer Rasterauflösung mit einer Maschenweite von 10 Kilometer vertreten. Daher beziehen sich im Folgenden alle Aussagen auf ein Raster von 10km x 10km, definiert durch die GISCO-Lambert azimuthal equal area Projektion, Nullpunkt=9°E 48°N (EC 2003). Das Gitter besteht aus 5962 Zellen, 3542 davon liegen innerhalb Deutschlands und sind somit eine geologische Einheit zugeordnet (s. unten). Letztlich werden für 3506 Zellen Werte des Radonpotentials berechnet. Die Differenz (36 leere Zellen) sind Wasserflächen und geologische Einheiten, die in den Gitterzellen vorkommen, aber nicht durch Radonpotential-Daten repräsentiert sind, sodass der unten beschriebene Algorithmus in diesen Zellen nicht angewandt werden kann.

5 VERWENDETE DATEN

5.1 INNENRAUMMESSUNGEN

Es stehen etwa 60.000 Werte der Innenraumkonzentrationen zur Verfügung, deren Qualität aber in vielen Fällen nicht optimal ist. Die Repräsentativität der Daten ist unklar, da sie nicht aus einem bundesweiten Survey stammen, sondern eine Kompilation von Daten verschiedener Projekte und sonstiger Quellen darstellen. Da die gemessene Radonkonzentration u.a. von den Hauseigenschaften und dem Stockwerk des untersuchten Raumes abhängt, wurde als Referenzsituation ein Aufenthaltsraum im Erdgeschoss eines

unterkellerten Massivhaus betrachtet. Nur ein Teil der Daten sind Messungen des Jahresmittelwertes in dieser Referenzsituation. Die restlichen Daten wurden durch Filterung oder modellbasiert auf die Referenzsituation normalisiert (Wohnräume im Erdgeschoss von unterkellerten Gebäuden). Filterung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass nur Daten verwendet werden, die den Kriterien einer Jahresmessung in der Referenzsituation entsprechen. Unter Modellierung wird verstanden, dass nicht den Kriterien entsprechende Daten mittels eines Modells „umgerechnet“ werden, z.B., indem Messdaten aus höheren Stockwerke skaliert werden mit der in Deutschland üblichen Verteilung der Konzentrationsverhältnisse zwischen Erd- und Obergeschossdaten. Die verwendeten Modelle sind für ganz Deutschland gleich, obwohl es wahrscheinlich regionale Unterschiede, basierend auf unterschiedlichen Baustilen gibt. Die Qualität der gefilterten Daten ist in der Regel besser als die der modellierten, da die Modellierung sowohl Modellunsicherheiten als auch Prädiktionsunsicherheiten beinhaltet. Die Anzahl der „guten“, d.h. gefilterten Daten, ist aber niedrig, was im Schritt der Klassifizierung Unsicherheit nach sich zieht. Daher wurde ein Datensatz erzeugt, der sowohl gefilterte, als auch modellierte Daten enthält. Für die weitere Auswertung lagen somit 15563 Messungen des Jahresmittelwertes in Aufenthaltsräumen im Erdgeschoss von unterkellerten Häuser mit genauen Koordinaten vor.

5.2 GEOGENES RADONPOTENTIAL

Aus den Projekten zur Erarbeitung der Prognosekarte der Radonbodenluftkonzentration (KEMSKI 2003; KEMSKI 2012a; KEMSKI 2012b) lagen an 3741 Orten Messungen der Bodenluftkonzentration in einem Meter Tiefe vor. Die Messungen wurden mittels einer Packersonde durchgeführt. Pro Messort wurden an drei Punkten, die ca. 5 Meter Abstand hatten, jeweils mehrere Messungen der Bodenluftkonzentration durchgeführt und der Maximalwert der Messungen zur Charakterisierung des Ortes herangezogen. Des Weiteren liegen Messungen der Gaspermeabilität im Boden an diesen Orten vor.

Als eine den geogenen Untergrund gut charakterisierende Größe hat sich dabei, wie auch in anderen europäischen Ländern, das Radonpotential RP erwiesen (leicht modifiziert nach Neznal (NEZNAL 2004):

$$RP := \frac{C}{-\log_{10} k - 10}$$

wobei C dem Zahlenwert der Radonbodenluftkonzentration in der Einheit kBq/m^3 und die Größe k dem Zahlenwert der Gaspermeabilität des Bodens in der Einheit m^2 entspricht. Das Radonpotential ist eine dimensionslose, empirische und einfach zu berechnende, handhabbare Größe, die sich üblicherweise im Bereich von 1 bis 200 bewegt. Das geogene Radonpotential wurde als Variable im Gegensatz zu früheren Ansätzen, in denen nur die Bodenluftkonzentration verwendet wurde, gewählt, um auch dem Transport des Radons im Boden Rechnung zu tragen, der mit der Permeabilität quantifiziert werden kann. Die Definition des Neznal-Radonpotentials wurde von den Autoren heuristisch gewählt, um eine optimale Klassenkorrelation zwischen dem Radonpotential und der Innenraumkonzentration herzustellen (NEZNAL 2004). Inzwischen wird das Neznal-Radonpotential von vielen Autoren verwendet und ist fast zu einem de facto-Standard der Quantifizierung des geogenen Radonpotentials geworden.

In Deutschland standen 2012 für die Analyse somit 3741 Werte des Radonpotentials zur Verfügung. Die Werte sind geographisch nicht gleichmäßig verteilt, da etliche aus Pilotprojekten mit verdichteter Probenahme stammen und die Dichte der Probenahme im Weiteren der geologischen Variabilität angepasst wurde.

5.3 GEOLOGIE

Jedem Datenpunkt des Radonpotentials wurde mittels eines geografischen Informationssystems (GIS) die Geologie gemäß der GK1000 zugeordnet. Die geologischen Einheiten wurden in 52 Klassen eingeteilt (siehe Anhang). Die Klassen orientieren sich an der Klassifizierung durch Kemski. Nach Analyse der Verteilung des Radonpotentials innerhalb der Klassen wurden diese reklassifiziert, d.h. etliche Klassen geteilt und einige verschmolzen. Die ursprüngliche Idee einer geologischen Klassifikation nach Radon-Gesichtspunkt blieb aber erhalten.

Die Prozedur, die zur Delineation der Radonvorsorgegebiete führt, ist zweistufig: Der erste Schritt ist die Schätzung des deutschlandweiten Radonpotentials als Prädiktor der Radonvorsorgegebiete. Im zweiten Schritt erfolgt die „Ankopplung“ des Radonpotentials an die Radon-Innenraumkonzentrationen, für die ja das Kriterium des Radonvorsorgegebietes gilt. Der zweite Schritt führt zu einem Klassifizierungsproblem, indem eine Schwelle des Radonpotentials gefunden werden muss, die dem Kriterium für die Radonvorsorgegebiete optimal entspricht.

6 TEIL I: PRÄDIKTOR - KARTE DES GEOGENEN RADONPOTENTIALS

(1) Die RP-Daten wurden auf die geologische Einheit normalisiert, in der sie liegen, indem jedes Datum durch das geometrische Mittel (GM) aller Daten der entsprechenden Geologie dividiert wird. Die transformierten Daten haben daher $GM=1$, bzw. das arithmetische Mittel der logarithmischen Werte, $AML=0$.

(2) Die Logarithmen der transformierten Daten (gerechtfertigt durch die ungefähre Lognormalität räumlicher Rn-Daten, (BOSSEW 2010)) sind Input der räumlichen Interpolation. Der Vorteil des Ansatzes besteht darin, dass ein räumlich einheitlicher Datensatz entsteht, d.h. ohne Brüche entlang geologischer Grenzen. So kann ein Variabilitätsmodell über das ganze Land erstellt werden. Der Nachteil ist, dass es keinen physikalischen Grund zur Annahme existiert, dass über geologische Grenzen – auch wenn sie „wegnormalisiert“ sind - mittels geostatistischer Standardverfahren hinweginterpoliert werden kann. Das Resultat zeigt aber, dass dieses Problem offenbar wenig Einfluss hat.

Diese Methode hat (wie der Ansatz von (KEMSKI 2001)) den Nachteil, dass sie zu Ergebnissen führt, die in gewissem Ausmaß von der gewählten geologischen Klassifikation abhängt. Diese „semantische Unsicherheit“ ist nach Stand des Wissens nicht zu beheben.

(3) Die Daten wurden dann mittels Sequentieller Gauss'scher Simulation interpoliert. Da das Mittel a priori 0 ist, kann simple kriging (basiert auf dem empirischen Variogramm) als Element des SGS-Algorithmus angewendet werden, und die lokale Verteilung der Realisierungen (hier 100) ist ein Unsicherheitsmaß. Die lokalen Statistiken über die rücktransformierten Realisierungen sind weitgehend unbiased. Der lokale Erwartungswert ist das arithmetische Mittel über die rücktransformierten Realisierungen, dieser ist in der unten gezeigten Radonpotential-Karte (Abbildung 1) dargestellt. Die Methode wurde mit SGeMS Software (REMY 2009) implementiert. Die Prozedur ist in (BOSSEW 2015a) publiziert.

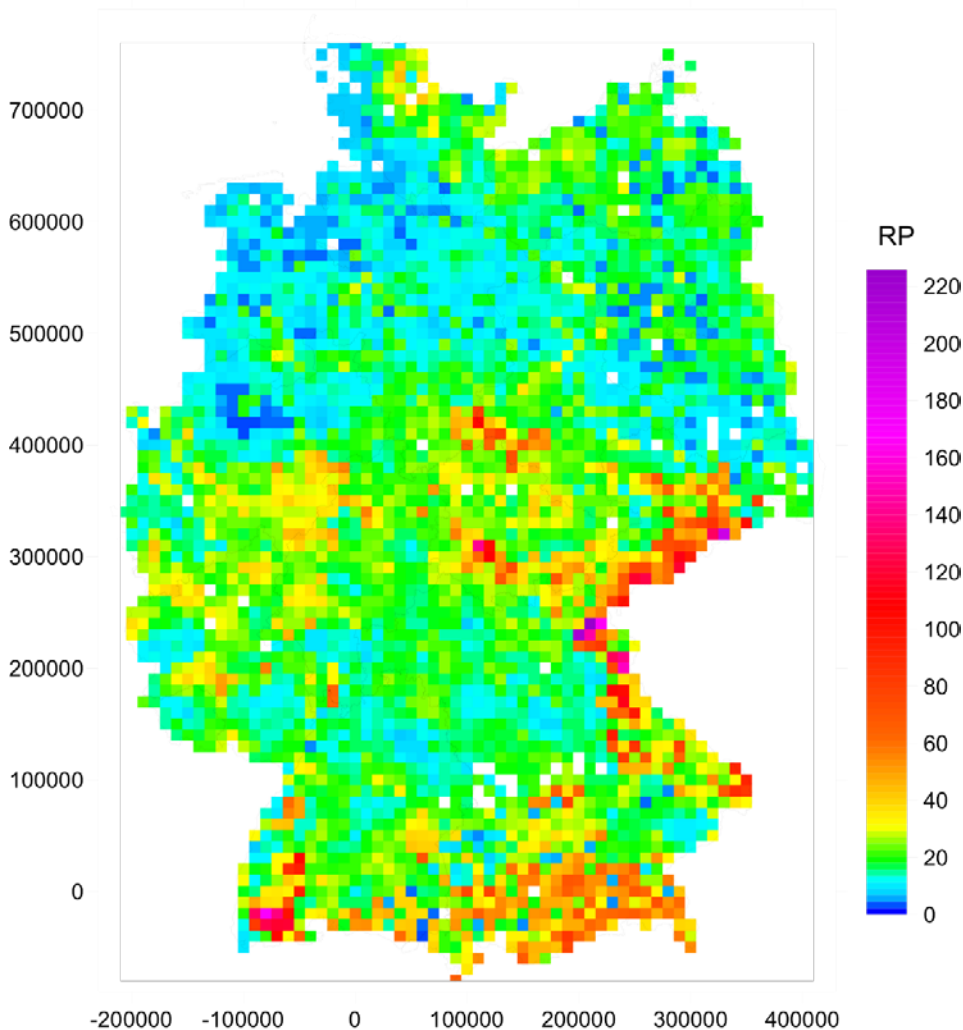


Abbildung 1: Schätzung der deutschlandweiten Verteilung des Radonpotentials (Mittelwert aus 100 Simulationen).

Die hier verwendete Farbskala wurde mit dem Ziel eines möglichst hohen Kontrastes gewählt.

Anmerkungen:

(a) Der Theorie gemäß sollten die Daten multivariat normal sein. Dies konnte zum Zeitpunkt der Modellierung (2012) nicht quantitativ getestet werden. Inzwischen wurde ein einfacher Test für bivariate Normalität entwickelt (BOSSEW 2015b), der gezeigt hat, dass die log-transformierten Daten (original oder de-clustered) die Bedingung nur eingeschränkt erfüllen. Besser geeignet wären nscore-transformierte Daten, die aber den Nachteil haben, dass die Bedingung $AM=0$ nicht mehr zutrifft. Das Dilemma ist vorläufig ungelöst.

(b) Da das geometrische Mittel über geologische Einheiten, das der Normalisierung zugrunde liegt, aus den Daten geschätzt wurde, ist es mit Unsicherheit behaftet, sodass die Annahme $AM=0$ nur mit Unsicherheit stimmt. Wie diese Unsicherheit in das Ergebnis propagiert, ist derzeit unklar.

(c) Die Datenunsicherheit des Radonpotentials (aus Messunsicherheit und bekanntermaßen zeitlicher Variabilität, die sich als Unsicherheit in Bezug auf ein hypothetisches Langzeitmittel manifestiert) ist nicht berücksichtigt. Dies zu klären würde Simulationen von Simulationen erfordern, was die derzeitig vorliegenden technischen Möglichkeiten überfordert.

(d) Die Marginalverteilung des Radonpotentials ist eine nach Möglichkeit zu reproduzierende Eingangsgröße des Simulations-Algorithmus. Hier wurde die Verteilung aus den Originaldaten geschätzt. Korrekterweise müsste die Verteilung jedoch aus den entclusterten Daten abgeleitet werden, jedoch stand zum Zeitpunkt der Simulation die technische Implementierung noch nicht zur Verfügung. Dies ist relevant, da die Radonpotential-Daten einem präferentiellen Sampling-Schema entstammen, welches teilweise mit dem erwarteten Level des Radonpotentials korreliert ist. (Die Anzahl der vorliegenden Messwerte korreliert mit dem Radonpotential, da bevorzugt in Gebieten mit hohen Radonkonzentrationen gemessen wurde.) Welche Auswirkung das auf die Schätzung der Radonpotential-Karte hat, muss durch weitere Versuche ermittelt werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass die gewählte Prozedur nicht die einzig mögliche und theoretisch vertretbare ist. Auch alternative Methoden (z.B. Transgaussian Kriging mit Trend und optimierte heuristische Abstandsgewichtung, Optimierung mittels Bootstrap oder Teilung der Daten in Training und Validation Sets) haben allerdings ihre Probleme. Die Ensemblestreuung zu ermitteln, die Folge verschiedener Prozeduren ist, mag künftigen Überlegungen vorbehalten bleiben.

7 TEIL II: ERMITTLUNG EINES SCHWELLENWERTES DES RP

(1) Für alle Zellen mit einem Wert des Radonpotentials wird aus den Daten eine semi-empirische Überschreitungswahrscheinlichkeit des Referenzwertes bestimmt. Semi-empirisch bedeutet, dass diese Wahrscheinlichkeit aus einer angenommenen, und lokal aus den Daten geschätzten Log-Normalverteilung bestimmt wird (BOSSEW 2015c, p.30). Eine jüngste, auf Simulation basierte Untersuchung hat gezeigt, dass dabei mit einem (positiven) Bias gerechnet werden muss (BOSSEW 2017a).

(2) Die Zellen mit geschätztem Radonpotentials und die mit geschätzter Überschreitungswahrscheinlichkeit sind die Eingangsdaten einer Kreuztabelle [BOSSEW 2014a; BOSSEW 2014b]. Die zweite Variable wird nach dem Kriterium des Radonvorsorgegebietes in zwei Klassen geteilt. Mittels Receiver Operating Characteristic (ROC), wobei die Innenraumbedingung (dreifache Überschreitungswahrscheinlichkeit) als feste Eingangsbedingung, das Überschreiten eines Radonpotentials als variable Bedingung einging, wird eine Schwelle des letzteren bestimmt, die den Anforderungen entspricht. Die Analyse der sich daraus ergebenden Tabellen nach Schwellen, bei denen die Fehlklassifizierungsrate weniger als 10 Prozent ergab, führte zur Bestimmung einer Schwelle von rund 44 als untere Schwelle für ein prognostiziertes Radonvorsorgegebiet. Des Weiteren ergab die Auswertung, dass bei einem Radonpotential von weniger als 20 mit 90%iger Wahrscheinlichkeit die Kriterien für Radonvorsorgegebiete nicht eingehalten werden. In dem Bereich zwischen dem Radonpotential von 20 und 44 ist keine gesicherte Aussage zu treffen, ob in diesen Gebieten die Wahrscheinlichkeit, den Referenzwert in Innenräumen zu überschreiten bei mindestens 10 % liegt oder nicht.

Die Methode ist relativ robust, da sie nur auf die Beziehung zwischen je zwei Klassen der Variablen optimiert ist, nicht jedoch auf die Ermittlung der Funktion der Innenraum Radon-Überschreitungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Radonpotential. Auch dieses ist z.B. mittels verallgemeinerter logistischer Regression (BOSSEW 2016a; BOSSEW 2017b) möglich, wird aber zum Zweck der Bestimmung von Radonvorsorgegebiete nicht benötigt. Trotzdem ist auch die mittels optimierter Klassifizierung ermittelte Radonpotentialschwelle eine Zufallsvariable mit ihrerseits entsprechender Unsicherheit, die (mittels Bootstrap geschätzt) einige Radonpotential-Einheiten beträgt.

8 ERGEBNIS

In Abbildung 2 ist die räumliche Verteilung des Erwartungswertes des Radonpotentials (entsprechend Abbildung 1) dargestellt, wobei die farbliche Abstufung den berechneten Schwellenwerten entspricht. Gebiete mit dunkelblauer Färbung kennzeichnen somit Regionen, in denen unter Zugrundelegung der unter Ziffer 3 dargestellten Kriterien, davon auszugehen ist, dass der Referenzwert in einer beträchtlichen Anzahl von Gebäuden überschritten wird. Nach der Prognose sind hellblaue Regionen mit Gebiete nach § 121 Absatz 1 StrlSchG, Gebiete mit mittlerer Färbung können nach dem derzeitigen Kenntnis- und Datenstand nicht eindeutig zugeordnet werden. In diesen Regionen sind weitergehende Untersuchungen, insb. Messungen sowohl des Radonpotentials als auch der Radoninnenraumkonzentration notwendig.

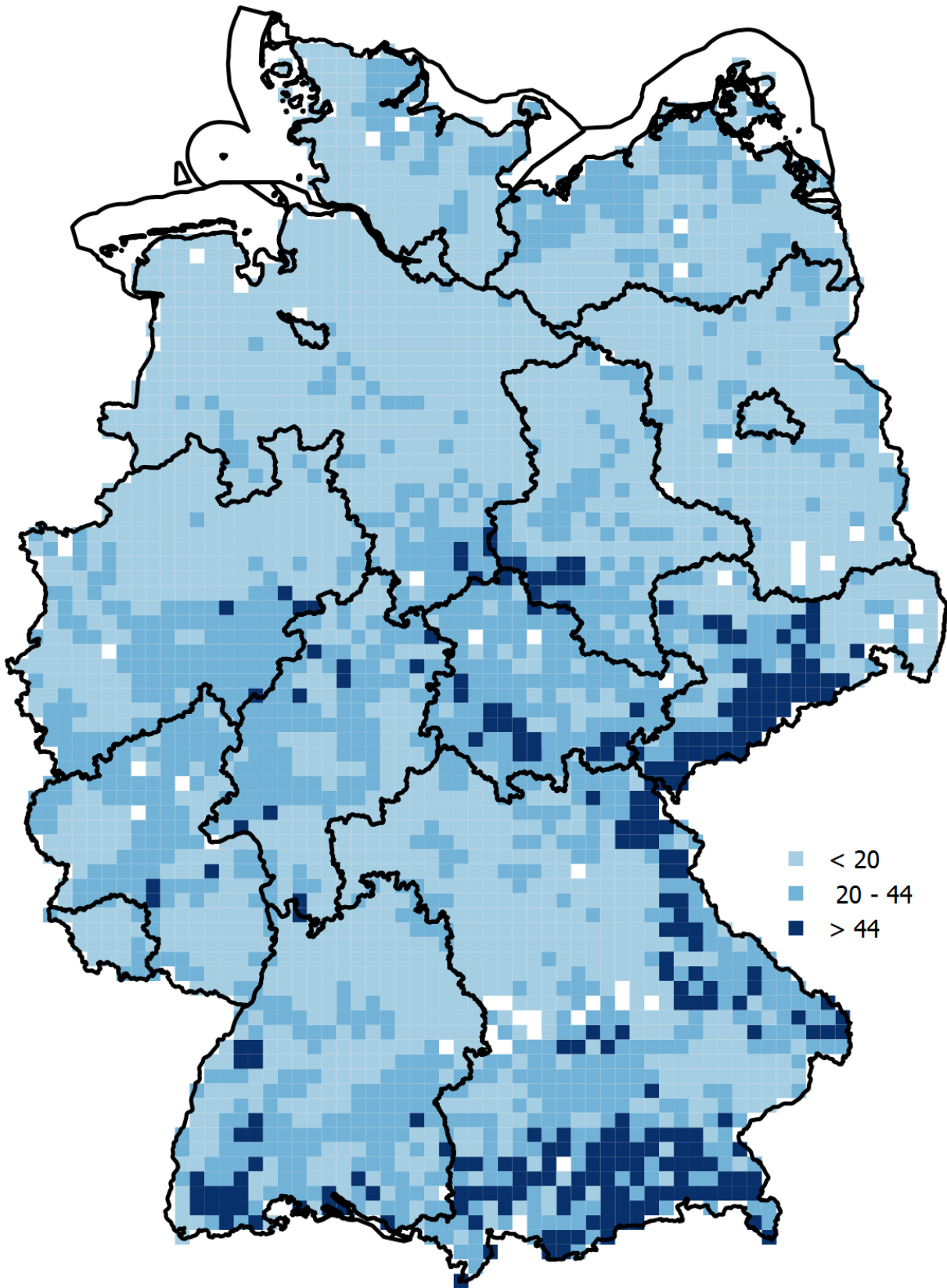


Abbildung 2: Prognose der Verteilung des Radonpotentials in Deutschland mit Schwellenwerten entsprechend der Kriterien für Radonvorsorgegebiete.

9 LITERATUR

- [1] BOSSEW P. (2010), Radon: Exploring the Log-normal Mystery. JER 101 (10), 826 - 834, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.05.005>
- [2] BOSSEW P. (2014a), Determination of radon prone areas by optimized binary classification. J. Environmental Radioactivity 129, 121 – 132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.12.015>
- [3] BOSSEW P. (2014b), Estimation of radon prone areas by bivariate classification using ROC analysis. Proc., 12th international workshop on the geological aspects of radon risk mapping (GARRM), 16.-19.9.2014 Prague; I. Barnet, M. Neznal and P. Pacherová (eds): 12th Intl. Worksdop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping. Czech Geological Survey & RADON v.o.s., Prague 2014. <http://www.radon.eu/workshop2014/pres.html>
- [4] BOSSEW P. (2015a): Mapping the Geogenic Radon Potential and Estimation of Radon Prone Areas in Germany. Radiation Emergency Medicine 4 (2), 13 - 20. <http://www.hs.hirosaki-u.ac.jp/~hibaku-pro/rem/>
- [5] BOSSEW P. (2015b): A quantitative test for bi-normality. Poster & extended abstr., IAMG 2015, Freiberg / Germany, 6.-10.9.2015
- [6] BOSSEW P., TOLLEFSEN T., CINELLI G., GRUBER V. and DE CORT M. (2015c): Status of the European Atlas of Natural Radiation. RPD 167 (1-3): 29 - 36 doi:10.1093/rpd/ncv216
- [7] BOSSEW P. (2016a), Local probability of indoor radon concentration to exceed a threshold, estimated from the geogenic radon potential. Abstr. (oral pres.) to GeoEnv 2016, Lisboa 6-8 July 2016
- [8] BOSSEW P. (2017a): Determination of radon priority areas – a classification problem. Presentation, IWEANR 2017, 2nd International Workshop on the European Atlas of Natural Radiation. Verbania, Italy, 6 – 9 Nov 2017.
- [9] BOSSEW P. (2017b): Local probability of indoor radon concentration to exceed a threshold, estimated from the geogenic radon potential. Nuclear Technology & Radiation Protection 32 (1), 70 - 76, <http://doi.org/10.2298/NTRP1701070B>
- [10] EC (2003): European Commission. http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/gisco_dbm/dbm/p1ch3_5.htm .
- [11] KEMSKI J., et al. (2002): Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und Wohnraumluft. Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben St. Sch. 4186 und St. Sch. 4187: Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials. Teil A: Bodenuntersuchungen zum geogenen Radonpotenzial. Teil B: Validierung der geologischen Prognose durch Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2002–598. – Excerpt. measurement protocol soil air: www.kemskibonn.de/downloads/MessanleitungBodenluft_Web.pdf (accessed 28 April 2015).
- [12] KEMSKI J., KLINGEL R., SIEHL A., NEZNAL M., MATOLIN M. (2012a): Erarbeitung fachlicher Grundlagen zum Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration - Vorhaben 3609S10003 : Bd. 1, Abschlussbericht, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201203237824>
- [13] KEMSKI J., KLINGEL R., SIEHL A., NEZNAL M., MATOLIN M. (2012b): Erarbeitung fachlicher Grundlagen zum Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration - Vorhaben 3609S10003 : Bd. 2, Sachstandsbericht "Radonmessungen in der Bodenluft - Einflussfaktoren, Messverfahren, Bewertung", <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201203237830>
- [14] KEMSKI J., SIEHL A., STEGEMANN R., VALDIVA-MANCHEGO M. (2001): Mapping the geogenic radon potential in Germany. The Science of the Total Environment 272, 217 – 230; [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00696-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00696-9)
- [15] NEZNAL M., et al. (2004), The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geol. Survey Special Papers, 16, Czech Geol. Survey, Prague, 47 p. <http://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf> (accessed 28 April 2015)

[16] REMY N., BOUCHER A., WU J. (2009): Applied Geostatistics with SGemS – A User's Guide. Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-51414-9.

10 WEITERFÜHRENDE LITERATUR:

- [17] BOSSEW P. (2013a), A radon risk map of Germany based on the geogenic radon potential. In: E. Pardo-Igúzquiza et al. (eds.): Mathematics of Planet Earth, Lecture Notes in Earth System Sciences, pp. 527 - 531, doi:10.1007/978-3-642-32408-6_115, Springer; Pres., IAMG (Intl. Ass. Math. Geosciences) 2013, Madrid 2 - 6 Sept 2013.
- [18] BOSSEW P. (2013b), Stochastic dependence of Rn-related quantities. FERAS 2012, 2-5. Sept. 2012, Cluj-Napoca, Romania; Romanian J. Physics 68, suppl., S44; http://www.nipne.ro/rjp/2013_58_Suppl.html
- [19] BOSSEW P. (2015c): Estimation of radon prone areas through binary classification, part 2: radon prone geologies. J. Environmental Radioactivity 141, 44-50, 10.1016/j.jenvrad.2014.11.020
- [20] BOSSEW P., CINELLI G., TOLLEFSEN T., DE CORT M. (2016b): Towards a multivariate geogenic radon hazard index. Presentation, V. Terrestrial Radionuclides in Environment International Conference on Environmental Protection / VIII. Hungarian Radon Forum and Radon In Environment, Veszprém, Hungary, 17 – 20 May 2016

11 ANHANG

Tabelle 1: Verwendete geologische Klassifikation.

Geo code ¹	GM(RP) ²	Stratigraphy 1	Stratigraphy 2	Genesis (last step in geolical history)	Lithology	n ³
210	20.5	cambrian		sediment, marine, partly metamorph	slate, Bündner schist, sandstone, phyllitic schist, quartzite, greywacke	7
221	25.9	ordovician		sediment, marine	slate, quartzite, Geröllquartzit	86
222	41.7	ordovician		sediment, marine, metamorph	phyllite	78
230	63.0	silur		sediment, marine	slate, fibrous schist, greywacke, limestone	2
240	18.8	devonian		sediment, marine	slate, sand stone, greywacke, quartzite, limestone	365
251	29.4	carboniferous	lower	marine sediment	greywacke, slate, Plattenkalk, siliceous limestone, Kieselschiefer, alum shale	130
252	20.8	carboniferous	upper, namur		quartzite, greywacke, clayey shale	79

¹ Der Geocode ist willkürlich definiert

² Geometrisches Mittel des Radonpotentials

³ Anzahl der Zuordnungen

Geo code ¹	GM(RP) ²	Stratigraphy 1	Stratigraphy 2	Genesis (last step in geolical history)	Lithology	n ³
253	37.0	carboniferous	lower	olithostrome		8
254	18.5	carboniferous	upper, namur		slate, sandstone, coal	21
255	12.4	carboniferous	upper, westphal. and other		conglomerate, sandstone, siltstone, claystone, limestone, black coal	36
256	18.4	carboniferous	dinantian		limestone	4
261	14.2	permian	cisuralian; Rotliegend	sediment, fluvatile, fanglomeratic	shale clay, sand stone, conglomerate, black coal, porphyric breccia, tuff	141
262	31.3	permian	guadalupia- lopingian; Zechstein	sediment, marine-saline	dolomite, claystone with anhydrite and rock salt	32
311	11.9	triassic	lower; Buntsandstein	sediment, limnic	sandstone, siltstone, claystone, comglomerate	307
312	14.3	triassic	middle-upper; Muschelkalk	marine sediment, biogenic	limestone, marl, dolomite, claystone, etc.	188
313	10.0	triassic	middle-upper; Keiper	sediment, marine, limnic, fluvatile	claystone, siltstone, quartzitic sand stone, quartzite, etc.	187
320	11.8	jurassic		sediment, marine	marl, limestone, dolomite, limestone- sand stone, etc.	162
330	11.8	creteaceous	unspecified	sediment, marine, limnic, fluvatile	marls, sand, sand stone, conglomerate	58
331	2.7	creteaceous	upper, Campan	sediment, marine	clay-marl, marl-limestone, limestone, sand	3
335	5.4	creteaceous	Kreide, Unterkreide, Wealden	sediment, limnic-brackish	sand stone, clay, black coal	6
400	13.7	tertiary		sediment, limnic-fluvatile	rubble, sand, clay, marl, occasional conglomerate, etc.	123
511	9.1	quaternary	Pleistocaene	fluvatile	sand, gravel	41
512	6.2	quaternary	Pleistocaene incl Mindel	glacial-fluviatile	gravel and sand; partly stony	5
521	17.5	quaternary	Elster-Saale	fluvatile	sand, gravel	9
522	8.0	quaternary	Saale	glacial-fluviatile	sand and gravel	67
523	9.4	quaternary	Elster-Saale	glacial, ground moraine	silt; clayey, sandy, gravels and stones, partly calciferous	63
532	31.3	quaternary	Riss	glacial-fluviatile	gravel and sand; partly stony	3
533	15.3	quaternary	Riss	glacial	sand and gravel, partly silt and stones	11
541	8.3	quaternary	Weichsel+Wür m	fluvatile	sand, gravel	35
542	10.8	quaternary	Weichsel	glacial-fluviatile	sand and gravel, clay, silt	112
543	14.9	quaternary	Weichsel	glacial, ground moraine	silt; with clay, sand, gravel, stones, partly calciferous	140
544	12.8	quaternary	Weichsel	aeolian	silt, fine sand, clay, partly calciferous	136
553	33.9	quaternary	Würm	alpine-glacial	sand and gravel, partly silty and stony	66
561	17.8	quaternary	holocaene	fluvatile	sand, gravel, rubble	73

Geo code ¹	GM(RP) ²	Stratigraphy 1	Stratigraphy 2	Genesis (last step in geolical history)	Lithology	n ³
565	3.4	quaternary	holocaene	telmatic; bog (Niedermoor)	peat	12
566	4.5	quaternary	holocaene	marine; brackish and perimarine	clay, silt, sand	10
581	38.4	quaternary		sediment,marine,fluvatile ; derived triassic	limestone, dolomite, marl	26
582	21.8	quaternary		sediment,marine, fluvatile; derived cret.	sand, gravel, rubble, limestone, limestone-marl, marl, sandstone, conglomerate	18
710	39.1	cambrian		sediment, slightly metamorph	greywacke	15
720	41.0	cambrian		sediment, low metamorph	phyllite, quartzite	30
730	26.8	cambrian		sediment, medium metamorph	mica schist	76
740	29.4	upper prot-?		sediment, high metamorph	(blasto-, ultra-) mylonite, Perlgneiss	101
750	24.2	upper protero-lower paleo		sediment, high metamorph	paragneiss	248
760	18.8	upper protero		high metamorph	migmatite, diatextite, palite	32
770	37.1	protero-paleo		granite, high metamorph	orthogneiss	51
780	14.4	upper prot-lower paleo		granodiorite, metamorph	(meta-) granodiorite	11
810	37.3	carbon		felsic volcanite	thylite, quartz-porphyr	46
861	15.6	paleozoic	< carbon	mafic volcanite	spilite, basalt, diabase (dolerite)	20
862	24.2	paleozoic	> carbon		andesite, latite, dacite and basalt	29
867	15.8	tertiary		mafic volcanite	alkaline basalt, basanite, tephrite, nephelinite, tholeiitic and olivine basalt, andesite	20
868	14.9	quaternary		mafic volcanite	alkaline-basaltic tuff & foid & slag, trachyte / pumice	10
911	44.1	upper devon-carbon		felsic plutonite	granite	295
912	66.6	upper carbon-cisuralian(rotliegend)		felsic plutonite	granodiorite-granite	119
960	32.5	paleozoic	<carbon	mafic plutonite	diorite, gabbro	25

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AM:	Arithmetisches Mittel
AML:	Arithmetisches Mittel der logarithmierten Werte
C:	Radonbodenluftkonzentration
GIS:	Grafisches Informationssystem
GISCO:	Geographical information system of the Commission
GM:	Geometrischer Mittelwert
k:	Gaspermeabilität des Bodens
Rn:	Radon
ROC:	Receiver Operating Characteristic
RP:	Radonpotential
SGeMS:	Stanford Geostatistical Modeling Software
SGS:	Sequentielle Gauss'scher Simulation

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schätzung der deutschlandweiten Verteilung des Radonpotentials (Mittelwert aus 100 Simulationen).....	7
Abbildung 2: Prognose der Verteilung des Radonpotentials in Deutschland mit Schwellenwerten entsprechend der Kriterien für Radonvorsorgegebiete.....	10

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Verwendete geologische Klassifikation. 12

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-IAR-1/90

Zähringer, M.; Bieringer, P.; Kromer, B.; Sartorius, H.; Weiss, W.

Entwicklung, Erprobung und Einsatz von Schnellmeßmethoden zur nuklidspezifischen Bestimmung atmosphärischer Kontaminationen.

Freiburg, August 1990

BfS-IAR-2/97

Zähringer, M.; Sempau, J.

Calibration Factors for Dose Rate Probes in Environmental Monitoring Networks Obtained from Monte-Carlo-Simulations

Freiburg, Februar 1997

BfS-IAR-3/98

Weiss, W.; Kelly, G.N.; French, S.

Decision Support for Emergency Response - How Best Can it be Improved?

Proceedings of a BfS/EC Workshop Freiburg, Germany, December 8-10, 1997.

Freiburg, September 1998

BfS-AR-1/01

Bieringer, J. u. P.

Abschlussbericht. In-situ Übung 2000. 16. und 17. Mai 2000.

Länder / BfS in Augsburg und die DWD-Stationen.

Freiburg, März 2001

BfS-ST-1/92

Die Auswirkungen des Unfalls im sowjetischen Kernkraftwerk Tschernobyl auf das Territorium der ehemaligen DDR im Jahre 1989.

Berlin, August 1992

BfS-ST-2/92

Umweltradioaktivität in den ostdeutschen Ländern.

Jahresbericht 1990.

Berlin, September 1992

BfS-ST-3/92

2. Biophysikalische Arbeitstagung. Schlema, 11. bis 13. September 1991.

Berlin, November 1992

BfS-ST-4/93

Teil 1: M. Beyermann, B. Höfs, Teil 2: I. Gans, M. Beyermann, M. Lönnig

Teil 1: Radonmessungen in Gebäuden mit Aktivkohledetektoren und Flüssigszintillations-

Spektrometrie Teil 2: Verfahren zur Schnellbestimmung der Aktivitätskonzentration von Radon-222 in der Luft von Gebäuden - Screeningmessung 1993

Berlin, Juli 1993

BfS-ST-5/93

Sarenio, O.; Will, W.

Qualitätssicherung der Dosisleistungsmessungen im Grundpegelbereich.

Berlin, September 1993

BfS-ST-6/95

Schmidt, V.; Feddersen, Ch.; Ullmann, W.

Untersuchungen zur Aussagefähigkeit von passiven Meßsystemen zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon und kurzlebige Radonfolgeprodukte.

Berlin, Juni 1995

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-ST-7/95

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1993 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1993 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung.

Berlin, August 1995

BfS-ST-8/96

Kraus, W.

Strahlenexposition und Strahlenschutzdosimetrie

Berlin, April 1996

BfS-ST-9/96

Umweltradioaktivität im Ostthüringer Bergbauegebiet.

Berlin, Juli 1996

BfS-ST-10/96

Hamel, P.; Lehmann, R.; Kube, G.; Couball, B.; Leißring, B.

Modellhafte Sanierung radonbelasteter Wohnungen in Schneeberg.

Berlin, Oktober 1996

BfS-ST-11/97

Beyermann, M.; Naumann, M.; Sarenio, O.; Schkade U.-K.; Will, W.

Erfahrungen zur Qualitätsüberwachung bei der Ermittlung der Umweltradioaktivität im Rahmen der Meßprogramme zum Projekt "Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkaster)".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-12/97

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1994 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Abwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen. Ergänzung zum Jahresbericht 1994 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 1997

BfS-ST-13/97

Will, W.; Borsdorf, K.-H.; Mielcarek, J.; Malinowski, D.; Sarenio, O.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in den östlichen Bundesländern

Deutschlands. Berlin, August 1997

BfS-ST-14/97

Will, W.; Borsdorf, K.-H.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in Deutschland.

Lehmann, R.; Kemski, J.; Siehl, A.

Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland.

Berlin, November 1997

BfS-ST-15/98

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1995 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1995 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1998

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-ST-16/99

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1996 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1996 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, März 1999

BfS-AS-1/00

Bünger, T.; Obrikat, D.; Rühle, H.; Viertel, H.

Materialienband 1997 zur Radioaktivität in Trinkwasser, Grundwasser, Klärschlamm, Reststoffen und Abfällen.

Ergänzung zum Jahresbericht 1997 des BMU "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung".

Berlin, Februar 2000

BfS-AS-2/00

Jun, J.-S.^{)}; Guggenberger, R.; Dalheimer, A.*

^{*)} *Department of Physics, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea*

A Comparative Study on the CL Dosimetric Characteristics of German and Korean Sugar and Sorbite.

Berlin, Oktober 2000

Ab 1. Februar 2003 SW

BfS-SW-01/03

Will, W.; Mielcarek, J.; Schkade, U.-K.

Ortsdosisleistung der terrestrischen Gammastrahlung in ausgewählten Regionen Deutschlands.

Salzgitter, Juni 2003

BfS-SW-02/03

Bittner, S.; Braun, H.; H.-W. Dusemund, H.-W.;

Gregor, J.; Raguse, R.; Voß, W.

Einsatz des Entscheidungshilfesystems RODOS in Deutschland

Salzgitter, Juli 2003

BfS-SW-03/06

Beck, Thomas; Ettenhuber, E.

Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten

Leitfaden für die Umsetzung der Regelung nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 StrlSchV

Salzgitter, März 2006

BfS-SW-04/09

urn:nbn:de:0221-2009042344

Beck, Thomas

Spezielle Anforderungen an Geräte zur Bestimmung der Strahlenexposition durch Radon- und

Radonzerfallsprodukte

Salzgitter, April 2009

BfS-SW-05/09

urn:nbn:de:0221-2009120417

Dushe, C.; Gehrcke, K.; Kümmel, M.; Müller, S.

Ergebnisse der Radonmessungen in der bodennahen Luft der Bergbauggebiete

Salzgitter, Dezember 2009

BfS-SW-06/09

urn:nbn:de:0221-20100319945

Beyermann, M.; Bünger, T.; Gehrcke, K.; Obrikat, D.

Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland

Salzgitter, Dezember 2009

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-07/10

urn:nbn:de:0221-20100329966

Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau)
Salzgitter, März 2010

BfS-SW-08/10

urn:nbn:de:0221-201008113016

Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Foerster, E.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2010
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2010
Salzgitter, November 2010

BfS-SW-09/11

urn:nbn:de:0221-201109056212

Calculation Guide Mining

Calculation Guide for the Determination of Radiation Exposure due to Environmental Radioactivity Resulting from Mining
Department Radiation Protection and Environment
Salzgitter, September 2011

BfS-SW-10/11

urn:nbn:de:0221-201109216413

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2011
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2011
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, Oktober 2011

BfS-SW-11/12

urn:nbn:de:0221-201204128010

Gering, F.; Gerich, B.; Wirth, E.; Kirchner, G.

Analyse der Vorkehrungen für den anlagenexternen Notfallschutz für deutsche Kernkraftwerke basierend auf den Erfahrungen aus dem Unfall in Fukushima
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-12/12

urn:nbn:de:0221-201204168021

Kümmel, M.

Erläuterungen zur Berechnung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität mit den Berechnungsgrundlagen-Bergbau
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, April 2012

BfS-SW-13/12

urn:nbn:de:0221-201209149412

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-Aktivitätskonzentration oder der Radonexposition – Vergleichsprüfung 2012
Instruments to Measure Radon Activity Concentration or Exposure to Radon – Interlaboratory Comparison 2012
Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt
Salzgitter, September 2012

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-14/12

urn:nbn:de:0221-201210099810

Gehrcke, K.; Hoffmann, B.; Schkade, U.; Schmidt, V.; Wichterey, K.

Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende

Strahlenexposition

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2012

BfS-SW-15/13

urn:nbn:de:0221-2013111411138

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222-Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition

Vergleichsprüfung 2013

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2013

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2013

BfS-SW-16/14

urn:nbn:de:0221-2014101611834

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222- Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition

Vergleichsprüfung 2014

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2014

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Oktober 2014

BfS-SW-17/15

urn:nbn:de:0221-2015012612255

Kabai E.; Hiersche L.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2013)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2015

BfS-SW-18/15

urn:nbn:de:0221-2015092913543

Kabai E.; Hiersche L.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2014)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, September 2015

BfS-SW-19/15

urn:nbn:de:0221-2015110313768

Foerster, E.; Beck, T.; Buchröder, H.; Döring, J.; Schmidt, V.

Messgeräte zur Bestimmung der Radon-222- Aktivitätskonzentration oder der Radon-222-Exposition

Vergleichsprüfung 2015

Instruments to Measure Radon-222 Activity Concentration or Exposure to Radon-222

Intercomparison 2015

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2015

Bisher erschienene BfS-SW-Berichte

(vorher BfS-AR-, BfS-IAR-, BfS-ST- und BfS-AS-Berichte)

BfS-SW-20/15

Brummer, Christian; Strobl, Christopher

urn:nbn:de:0221-2015111813780

ISIGAMMA 2005

Internationaler Messvergleich zur Bestimmung der Radioaktivität im Boden mittels In-Situ-

Gammastrahlenspektrometrie, 9. bis 12. Mai 2005

(vormals: SW 2-16/2006 vom September 2006)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2015

BfS-SW-21/15

Brummer, Christian; Strobl, Christopher

urn:nbn:de:0221-2015111813794

ISIGAMMA 2005

International Comparison Measurements Aimed at Determining the Radioactivity in the Soil

with the Help of In-situ Gamma Spectrometry, 9 to 12 May, 2005

(formerly: SW 2-16/2006 vom September 2006)

Department Radiation Protection and the Environment

Salzgitter, November 2015

BfS-SW-22/16

urn:nbn:de:0221-2016113014171

Kabai E.; Hiersche L.; Poppitz-Spuhler A.; Baginski K.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2015)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, November 2016

BfS-SW-23/17

urn:nbn:de:0221-2017092114409

Kabai E.; Baginski K.; Poppitz-Spuhler A.

Radioaktive Kontamination von Speisepilzen

Aktuelle Messwerte (Stand: 2016)

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, September 2017

BfS-SW-24/18

urn:nbn:de:0221-2017122814454

Bossew P.; Hoffmann B.

Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines

Schwellenwertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten

Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt

Salzgitter, Januar 2018

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 (0)3018 333 0

Telefax: + 49 (0)3018 333 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz