



DISKUSSIONSBEITRAG: RADON ALS PANDEMIEVERSTÄRKER?

Iris M. Reuther¹

¹ Jade Hochschule Oldenburg, Oldenburg, Deutschland, E-Mail: iris.reuther@jade-hs.de

Kurzfassung

Eine höhere Exposition durch Radon steigert das Risiko für Lungenkrebs. In der Lunge angereicherte Zerfallsprodukte sind kanzerogen, die Kausalität gilt als gesichert. Daraus resultieren die geltenden Gesetze und Vorschriften, die zu Messungen an vielen in Radonvorsorgegebieten liegenden Arbeitsplätzen und bei Ergebnissen oberhalb des Referenzwertes zu Maßnahmen gegen die erhöhte Exposition verpflichten.

Dieser Beitrag nun stellt zur Diskussion, ob wirksame Radon Schutzmaßnahmen nicht auch der Prävention anderer Erkrankungen dienlich sein könnten. Konkret wird gefragt, ob es zwischen einer hohen Radonexposition und der Fallsterblichkeit im Zusammenhang mit Covid-19 eine Korrelation geben könnte. Vorschädigungen der Lunge erhöhen bekanntlich das Risiko eines schweren Verlaufs dieser Krankheit. Möglicherweise erhöht auch die Radonbelastung dieses Risiko.

Um dieser Frage nachzugehen, wird die Covid-19-Fallsterblichkeit von vier Bundesländern betrachtet. Der Untersuchung zugrunde liegen die Veröffentlichungen des Robert Koch-Instituts sowie die veröffentlichten Karten des Bundesamts für Strahlenschutz. Im Land Thüringen gilt der Boden als relativ stark durch Radon belastet, in Baden-Württemberg liegt dieses geogene Risiko vor allem im Schwarzwald vor. Bayern ist ebenfalls teilweise belastet; in Niedersachsen dagegen tritt Radon nur punktuell in maßgeblichen Dosen auf.

Eine Korrelation zwischen Radonexposition und dem Verlauf einer weiteren Erkrankung könnte dazu führen, dass den Maßnahmen des Radon Schutzes künftig mehr Bedeutung zukommt.

Abstract

Article regarding the discussion: Radon as a pandemic amplifier?

Greater exposure to radon increases the risk of lung cancer. Decay products that accumulate in the lungs are carcinogenic, with causality considered certain. The applicable laws and regulations are the result of this, and require measurements to be taken at many

workplaces located in radon protection areas and, if the results are above the reference value, measures to be taken against the increased exposure.

This article discusses whether effective radon protection measures could also be useful in preventing other diseases. Specifically, the question is whether there could be a correlation between high radon exposure and case mortality in connection with COVID-19. Pre-existing damage to the lungs is known to increase the risk of a severe course of this disease. Radon exposure may also increase this risk.

The COVID-19 case mortality rate of four federal states is considered in order to investigate this question. The study is based on the publications of the Robert Koch Institute and the maps published by the Federal Office for Radiation Protection. In the state of Thuringia, the soil is considered to be relatively heavily contaminated with radon, while in Baden-Württemberg this geogenic risk is particularly prevalent in the Black Forest. Bavaria is also partially contaminated, while in Lower Saxony, on the other hand, radon only occurs in significant doses in certain areas.

A correlation between radon exposure and the progression of another disease could lead to radon protection measures becoming more important in the future.

Einleitung

Ausgangslage Radon

Bei Radon handelt es sich um ein geogenes, farb-, geruchs- und geschmackloses, radioaktives Edelgas. Auch wenn es in niedriger Dosierung eine Heilwirkung haben kann, gilt es als schädlich. Konkret ist es seit Jahren nach dem Rauchen als zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs bekannt (z. B. in Breckow et al. 2023). In jüngster Zeit werden weitere Erkrankungen mit erhöhter Radon-Exposition in Verbindung gebracht. Vor allem seien hier allgemein Atemwegs- und Lungenerkrankungen genannt, so bei (Nyhan et al. 2019), (Mukharesh et al. 2022) oder (Wang et al. 2024). Die Verfasserin dieses Beitrags warf bereits im Jahr 2022 die Frage auf, ob nicht auch ein Zusammenhang zwischen Radonexposition und der Covid-19-Fallsterblichkeit

besteht (Reuther 2022). Die bis Mitte 2022 vorliegenden Daten waren jedoch noch weit unvollständiger als sie es nun, Ende 2023 sind. Zudem hat das Bundesamt für Strahlenschutz jüngst eine aktualisierte Karte mit der Radonbelastung in Wohnungen veröffentlicht (Bundesamt für Strahlenschutz 2023, Abbildung 2). Seit 2006 stand eine weniger kleinteilige Karte zur Radonbelastung in Innenräumen zur Verfügung (Bundesamt für Strahlenschutz 2006, Abbildung 1).

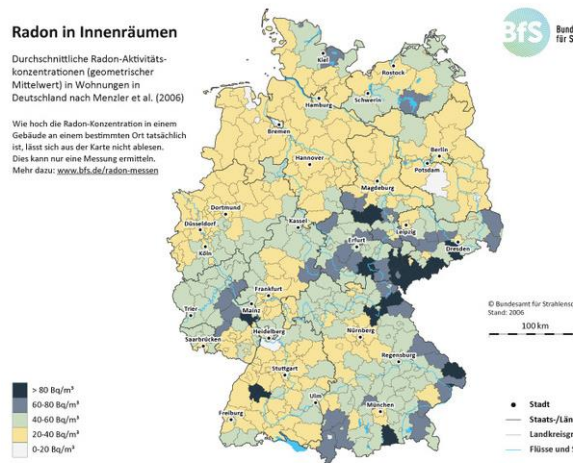


Abbildung 1: Radon in Innenräumen (Bundesamt für Strahlenschutz 2006)

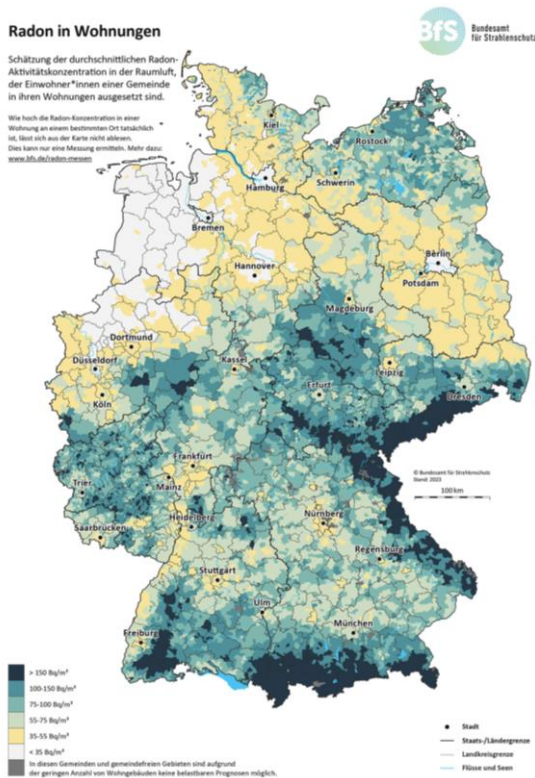


Abbildung 2: Radon in Wohnungen (Bundesamt für Strahlenschutz 2023)

Diese Aktualisierung ist unstrittig eine Verbesserung, wenngleich die veränderte Skala (bisher waren es fünf Skalen mit den Grenzen bei 20, 40, 60, 80 und 100 Bq/m³, nun sind es sechs mit je weit höheren Werten, vgl. Abbildung 1 und 2) bemerkenswert ist. Überhaupt scheint man inzwischen eine stärkere Radonaktivitätskonzentration in Wohnungen festgestellt zu haben. Zugleich ist es interessant, dass sich das BfS in seiner Veröffentlichung unverändert auf Wohnungen bezieht, obwohl die Messpflicht innerhalb von Radonvorsorgegebieten ausschließlich für Arbeitsplätze gilt (Bundesministerium der Justiz 2017). Die Verfasserin interpretiert dies als Signal: da in der Gesamtbevölkerung die Aufenthaltsdauer am Arbeitsplatz weit geringer ist als die im eigenen Heim, ist die Dauer der Exposition und damit das gesundheitliche Risiko innerhalb von Wohneinheiten länger bzw. höher als am Arbeitsplatz. Damit wird dem Gesundheitsschutz generell sowie insbesondere auch dem der Nicht-Arbeitnehmer eine hohe Priorität beigemessen.

Grundsätzlich bestätigt sich durch die Aktualisierung der Karte jedoch die bekannte, innerhalb Deutschlands verschieden hohe Radonexposition: besonders hoch belastet sind Wohnungen in den Alpen, im Schwarzwald, im Thüringer Wald sowie der Grenzregion zu Tschechien. Von einzelnen Gebieten (v. a. Rothaargebirge, Harz) abgesehen, sind also primär die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Thüringen und Sachsen betroffen. Am wenigsten von dieser Problematik tangiert ist Niedersachsen.

Fragestellung und Vorgehensweise

Der eingangs erwähnten Frage eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Radonbelastung und einer erhöhten Covid-19-Fallsterblichkeit soll exemplarisch nachgegangen werden anhand vierer Bundesländer. Ausgewählt werden dafür Thüringen als relativ stark von Radon belastetes Bundesland. Für eine in Teilen vorliegende Belastung stehen die Bundesländer Baden-Württemberg und Bayern, wohingegen Niedersachsen als der am wenigsten belastete Flächenstaat gelten dürfte. Die Beschränkung auf Flächenstaaten folgt dem Ziel einer möglichst vergleichbaren Wohnsituation. So ist die Bevölkerungsdichte in diesen vier Ländern mit 132, 167, 185 und 310 halbwegs vergleichbar und weitaus geringer als die in den Stadtstaaten (Bundeszentrale für politische Bildung 2020).

Nicht nur die Radonbelastung ist regional ungleich verteilt, auch die Zahl der Todesfälle infolge einer Infektion mit SARS-CoV-2 ist innerhalb der Bundesrepublik sehr verschieden. Exemplarisch wird hier auf Abbildung 3 verwiesen. Diese Graphik

bezieht sich auf die Todesfälle pro 100.000 Einwohner, lässt folglich keinen Rückschluss zu auf die Fallsterblichkeit.

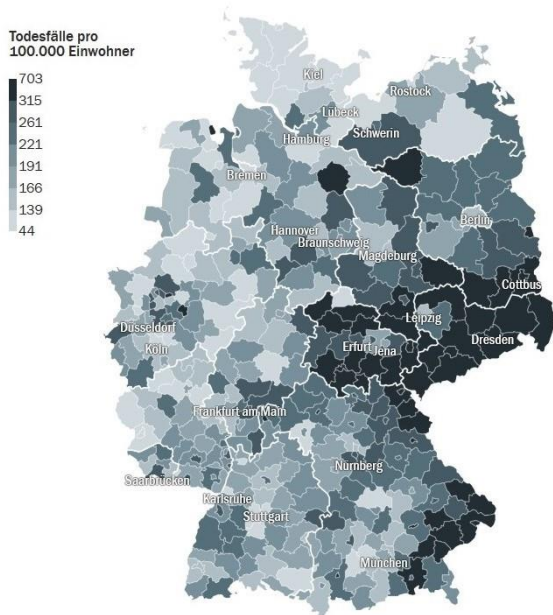


Abbildung 3: Covid-19-Todesfälle pro 100.000 Einwohner auf Kreisebene, Stand 12/2023 (Tagesspiegel 2023)

In diesem Beitrag wird nun für die vier exemplarisch gewählten Bundesländer die Fallsterblichkeit gem. Angaben des Robert Koch-Instituts ermittelt (Tagesberichte gem. Robert Koch-Institut 2023). Dies erfolgt sowohl insgesamt für den Zeitraum bis Ende März 2023 (Einstellung der Berichte im April 2023) als auch für mehrere Zeitabschnitte. Durch die zumeist halbjährliche Betrachtung werden der insbesondere anfangs ungleichmäßigen Verbreitung von SARS-CoV-2 innerhalb Deutschlands, der verschiedenen Test-Kapazitäten und -Pflichten, der Mutationen des Virus und nicht zuletzt des Einflusses der Impfungen zu einem gewissem Grad Rechnung getragen.

Ermittlung und Darstellung der Covid-19-Fallsterblichkeiten

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, wurden die vom Robert Koch-Institut veröffentlichten Tagesberichte zu bestimmten Stichtagen als Quelle dieser Arbeit herangezogen. Dieses Institut hatte täglich in der Übersicht der Bundesländer je die Zahlen kumuliert und bezogen auf 100.000 Einwohner, jedoch nicht die Fallsterblichkeit veröffentlicht. Der aus den veröffentlichten Daten ermittelte Zuwachs an per PCR-Nachweis bestätigten Fälle einer Infektion mit SARS-CoV-2 sowie der der Anzahl von beim RKI erfassten an und mit Covid-19 Verstorbenen ist in Tabelle 2 auf der folgenden Seite aufgelistet. Aus

diesen beiden Zahlen pro Bundesland und Zeitraum wurde die Fallsterblichkeit in Prozent ermittelt.

Die Betrachtung für den gesamten Zeitraum findet sich in Tabelle 2 rechts unten. Zum Vergleich sei hier auch die Fallsterblichkeit für ganz Deutschland in Tabelle 1 ermittelt: 0,45 %.

Tabelle 1: SARS-CoV-2-Fallzahl, Todesfälle im Zusammenhang mit Covid-19 und die daraus ermittelte Fallsterblichkeit in Prozent für Deutschland bis zum 31.03.2023 (nach Robert Koch-Institut 2023).

SARS-COV-2-FÄLLE BIS 31.03.23	TODESFÄLLE BIS 31.03.23	FALLSTERBLICHKEIT BIS 31.03.23
38.351.642	170.839	0,45%

Graphisch dargestellt sind die Werte aus Tabelle 1 und 2 für den Gesamtzeitraum in Abbildung 3.

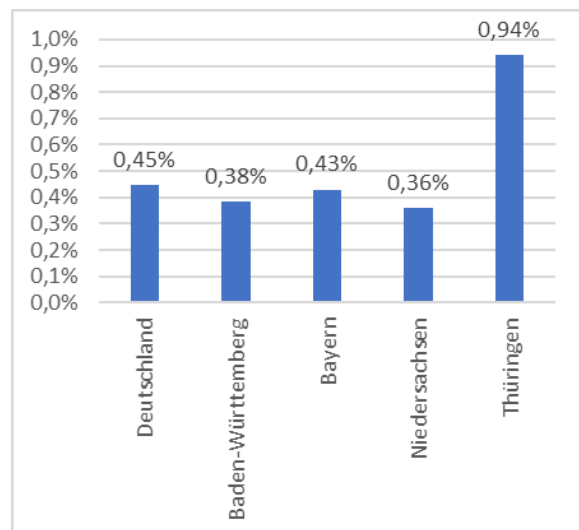


Abbildung 3: Covid-19-Fallsterblichkeit bis 31.03.23 für Deutschland, Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen gem. Tabelle 1 und 2 (eigene Darstellung).

Abbildung 4 veranschaulicht die Fallsterblichkeiten aus Tabelle 2 (ohne die bereits in Abbildung 3 verwendeten Werte für den gesamten Zeitraum).

Tabelle 2: Fallzahlen, Todesfälle im Zusammenhang mit Covid-19 und die daraus ermittelte Fallsterblichkeit in Prozent für die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen für verschiedene Zeiträume (nach Robert Koch Institut 2023).

	FÄLLE BIS 31.05.20	TODES- FÄLLE BIS 31.05.20	FALL- STERB- LICHKEIT BIS 31.05.20	FÄLLE 01.06.20 – 30.11.20	TODES- FÄLLE 01.06.20 – 30.11.20	FALL- STERB- LICHKEIT 01.06.20 – 30.11.20
BADEN- WÜRTTEMBERG	34.784	1.752	5,04%	115.935	1.024	0,88%
BAYERN	47.004	2.451	5,21%	162.678	1.411	0,87%
NIEDERSACHSEN	12.043	593	4,92%	59.543	566	0,95%
THÜRINGEN	3.015	162	5,37%	14.373	198	1,38%

	FÄLLE 01.12.20 – 31.05.21	TODES- FÄLLE 01.12.20 – 31.05.21	FALL- STERB- LICHKEIT 01.12.20 – 31.05.21	FÄLLE 01.06.21 – 30.11.21	TODES- FÄLLE 01.06.21 – 30.11.21	FALL- STERB- LICHKEIT 01.06.21 – 30.11.21
BADEN- WÜRTTEMBERG	374.832	7.193	1,92%	309.791	1.838	0,59%
BAYERN	474.318	11.091	2,34%	454.713	2.699	0,59%
NIEDERSACHSEN	198.067	4.463	2,25%	108.581	751	0,69%
THÜRINGEN	113.064	3.857	3,41%	84.596	796	0,94%

	FÄLLE 01.12.21 – 31.05.22	TODES- FÄLLE 01.12.21 – 31.05.22	FALL- STERB- LICHKEIT 01.12.21 – 31.05.22	FÄLLE 01.06.22 – 30.11.22	TODES- FÄLLE 01.06.22 – 30.11.22	FALL- STERB- LICHKEIT 01.06.22 – 30.11.22
BADEN- WÜRTTEMBERG	2.839.844	4.312	0,15%	1.222.935	2.099	0,17%
BAYERN	3.762.666	6.427	0,17%	1.640.302	3.046	0,19%
NIEDERSACHSEN	1.992.780	2.943	0,15%	1.226.965	2.480	0,20%
THÜRINGEN	495.239	2.277	0,46%	152.461	628	0,41%

	FÄLLE 01.12.22 – 31.03.23	TODES- FÄLLE 01.12.22 – 31.03.23	FALL- STERB- LICHKEIT 01.12.22 – 31.03.23	GES. FÄLLE BIS 31.03.23	GES. TODES- FÄLLE BIS 31.03.23	FALL- STERB- LICHKEIT BIS 31.03.23
BADEN- WÜRTTEMBERG	174.501	1.261	0,72%	5.072.622	19.479	0,38%
BAYERN	213.877	1.877	0,88%	6.755.558	29.002	0,43%
NIEDERSACHSEN	273.766	2.130	0,78%	3.871.745	13.926	0,36%
THÜRINGEN	23.831	434	1,82%	886.579	8.352	0,94%

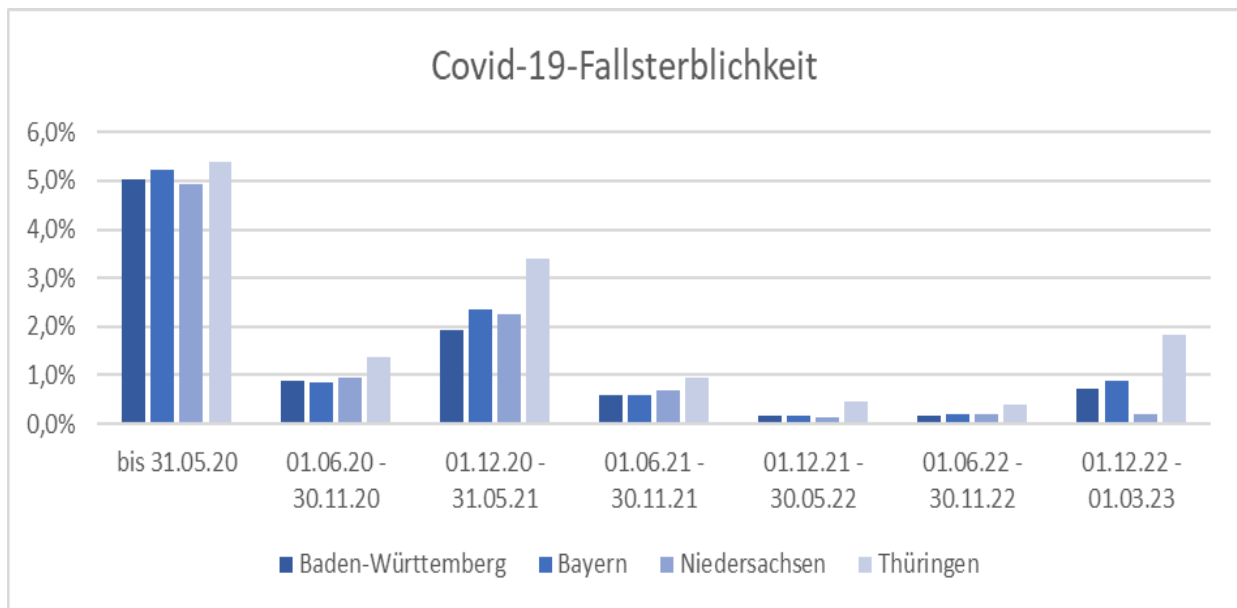


Abbildung 4: Covid-19-Fallsterblichkeit für ausgewählte Zeiträume für Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen gem. Tabelle 2 (eigene Darstellung).

Diskussion der Daten

Die im vorherigen Kapitel erstellten Daten in Form der Tabellen 1 und 2 sowie der Abbildungen 3 und 4 zeigen teils geringe, teils erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Covid-19-Fallsterblichkeit in den exemplarisch gewählten Bundesländern. In jedem der betrachteten Zeiträume sind in Thüringen in Relation zu den festgestellten Fällen mehr Tote im Zusammenhang mit Covid-19 zu beklagen als im Bundesdurchschnitt und in den drei anderen Bundesländern. So ist die Fallsterblichkeit insgesamt im am stärksten von Radon belasteten Thüringen sogar mehr als doppelt so hoch wie im Bundesdurchschnitt.

Im kaum durch Radon belasteten Niedersachsen dagegen darf man sowohl insgesamt als auch während der meisten der hier dargestellten Zeiträume für eine unterdurchschnittliche Covid-19-Fallsterblichkeit dankbar sein. Baden-Württemberg und Bayern weisen i. d. R. ähnliche Werte für die Fallsterblichkeit auf, die zumeist zwischen denen von Niedersachsen und Thüringen liegen.

Bei der Analyse der Fallsterblichkeit im zeitlichen Verlauf fällt auf, dass nach Beginn der Impfungen im Dezember 2020 ein deutlicher Anstieg festgestellt werden muss, obwohl das Gegenteil zu erwarten wäre. Der zweite Anstieg im letzten der analysierten Zeiträume könnte auf ein geändertes Test-Verhalten zurück zu führen sein. Schließlich gab es nach dem Ende der meisten der für die Allgemeinheit gültigen Corona-Maßnahmen nur noch für wenige Bereiche entsprechende Vorschriften. Hier sind Alten- und Pflegeheime sowie Kliniken zu nennen, in denen

durch obligatorische Test noch gehäuft SARS-CoV-2 nachgewiesen wurde, aber aufgrund der betagten Bewohner und vulnerablen Patienten auch die Wahrscheinlichkeit von Todesfällen höher war als in der Allgemeinbevölkerung.

Unabhängig davon zeigt sich jedoch insbesondere im Vergleich zwischen Thüringen und Niedersachsen, dass ein Zusammenhang zwischen der Covid-19-Fallsterblichkeit und der Radonexposition für möglich gehalten werden muss. Für den Nachweis einer Kausalität bedarf es zum einen weiterer Daten: bisher waren zwar die taggenauen SARS-CoV-2-Fallzahlen auf Kreisebene auf den Seiten des Robert Koch-Instituts in Tabellenform frei zugänglich, nicht aber die entsprechenden Zahlen der an und mit Covid-19 Verstorbenen. Zum anderen bedarf es zweifellos noch umfangreicher, weiterer Forschung, auch in anderen Ländern. Der hier durchgeführte Vergleich bekräftigt jedoch die Notwendigkeit dieser Forschung.

Bewertung

Das Ergebnis des hier vorgenommenen Vergleichs bedarf einer Bewertung, damit es eingeordnet werden kann. Sowohl die Erfassung der veröffentlichten Daten des Robert Koch-Instituts, somit der Basis dieser Arbeit, als auch der Vergleich an sich unterliegen einigen Unschärfen.

Da ist zum einen die in den Bundesländern unterschiedlich gehandhabte Testung und folglich Erfassung, da die entsprechenden Verordnungen je Sache der Bundesländer waren. Dazu kommen vermutlich aus der Überlastung der Behörden

resultierende Versehen bei der Erfassung. Exemplarisch dafür genannt seien die häufigen Korrekturen beispielsweise der aus Bayern gemeldeten Fallzahlen (Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit). Darüber hinaus wird in Deutschland generell nicht unterschieden, ob Menschen sterben „an Covid-19“ oder aber „mit Covid-19“. Letzteres bedeutet: primär aufgrund einer anderen Erkrankung, jedoch mit einem in den Wochen vor dem Ableben erfolgten Nachweis von SARS-CoV-2.

Eine zweite Einschränkung ergibt sich aus der Verteilung der Bevölkerung innerhalb der Bundesländer. So sind die Regionen Baden-Württembergs und Bayerns, in denen eine hohe Radon-Exposition vorliegt, ausgesprochen dünn besiedelt (Deutschlandatlas - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2022). Anders in Thüringen, wo sich mit beispielsweise Gera, Suhl und Ilmenau auch größere Orte in Regionen befinden, in denen eine hohe Radonexposition zu erwarten ist.

Da die allermeisten Todesfälle im Zusammenhang mit Covid-19 aufgetreten sind bei Menschen jenseits des 80. Lebensjahrs, ist drittens auch der Anteil der Betagten innerhalb eines Bundeslandes ein nicht unbedeutender Faktor. Der Anteil der über 65-jährigen an der Bevölkerung ist in Thüringen nicht nur geringfügig höher als in Baden-Württemberg, Bayern oder Niedersachsen (Bund-Länder-Demographie-Portal 2022).

Die meisten der vor genannten Einschränkungen sind in einer anderen Analyse der Verfasserin eliminiert (Reuther 2023, in Druck). Diese Untersuchung auf Landkreisebene bestätigt die Vermutung eines Zusammenhangs zwischen Radonexposition und Covid-19-Fallsterblichkeit. Ihr liegt jedoch nur ein sehr kleiner Anteil der Bevölkerung (etwa 365.000 von über 84 Mio Einwohnern) zugrunde. Damit ist die Frage erlaubt, inwiefern es sich um eine repräsentative Studie handelt.

Dieses Kapitel der Bewertung kommt folglich zum gleichen Schluss wie das vorherige. Der Titel dieses Tagungsbeitrags ist bewusst als Frage formuliert und tatsächlich bleibt der Einfluss von Radon auf den Verlauf einer Covid-19-Erkrankung eine noch nicht final beantwortbare Frage. Es bedarf weiterer Analysen, um einen Zusammenhang zwischen Radon-Exposition und einem tödlichen Verlauf von Covid-19 entweder zu bestätigen oder aber die bisher gewonnenen Ergebnisse als zufällig oder anderweitig verursacht betrachten zu können.

Zusammenfassung

Anhand der Tagesberichte des Robert Koch-Instituts bis Ende März 2023 wurde die Covid-19-Fallsterblichkeit von vier beispielhaft gewählten Bundesländern ermittelt: Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen. Dabei zeigt sich sowohl insgesamt als auch für mehrere Zeiträume von zumeist einem halben Jahr, dass die Fallsterblichkeit in Thüringen weit über dem Bundesdurchschnitt und auch über der in den drei anderen Bundesländern liegt. Niedersachsen hat dabei regelmäßig die niedrigsten Werte.

Thüringen ist von den hier verglichenen Bundesländern das am stärksten mit dem radioaktiven Edelgas Radon und Niedersachsen das diesbezüglich am wenigsten belastete. Deshalb besteht möglicherweise ein Zusammenhang zwischen der Radon-Exposition und einem tödlichen Verlauf einer Infektion mit SARS-CoV-2. Als Nachweis für eine Korrelation oder gar Kausalität ist der hier angestellte Vergleich noch nicht ausreichend.

Gleichwohl zeigen die Ergebnisse dieser Publikation, dass es sich lohnt, diese Untersuchungen fortzusetzen. Zwar wird möglicherweise – wie bei Lungenkrebs – der Nachweis einer Kausalität nicht gelingen, aber eines Tages auch schwere und tödliche Verläufe von Covid-19 als allgemein bekannte Folgen einer Radon-Exposition genannt werden. Dann wäre in Gebieten mit hoher Radonbelastung auch Covid-19 mit einer höheren Mortalitätsrate verbunden und die Erkrankung zählte zu den „stochastischen Strahlenwirkungen“ (Breckow et al. 2023, S. 33).

Diese Erkenntnis könnte den in Deutschland bisher teils etwas stiefmütterlich behandelten baulichen Maßnahmen gegen hohe Radonwerte in Innenräumen als präventive Maßnahme des Gesundheitsschutzes zu mehr Bedeutung verhelfen.

Die deutsche Bundesregierung und alle Länder-Regierungen haben sich während der Corona-Pandemie ausgesprochen besorgt um das gesundheitliche Wohl der Bevölkerung gezeigt. Dies fand Niederschlag sowohl in einer Vielzahl von Verordnungen als auch erheblicher materieller und ideeller Unterstützung der entsprechenden Akteure. Deshalb hofft die Verfasserin, dass die hier dargestellte Relevanz erkannt wird und folglich die Forschungen über Radon und seine gesundheitlichen Folgen sowie Maßnahmen zum Schutz vor einer Radon-Exposition allmählich ebenfalls sowohl mehr Aufmerksamkeit und auch Unterstützung erhalten werden.

Literatur

- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Übersicht der Fallzahlen von Coronavirusinfektionen in Bayern. https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionkrankheiten_a_z/coronavirus/karte_coronavirus/index.htm (Zugriff mehrfach in den Jahren 2020 - 2023).
- Breckow, J., Hartmann, T., Kemski, J., Kleve G., Klingelhöfer G. und Leicht, K. 2023. Radon und Radonschutz im Bauwesen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- Bundesamt für Strahlenschutz. Neue Karte zeigt Radon-Situation in Wohnungen. 12. 12. 2023. <https://www.bfs.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/BfS/DE/2023/010.html> (Zugriff am 27. 12. 2023).
- Bundesamt für Strahlenschutz. Radon in Innenräumen in Deutschland. 2006. <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/innenraeume.html> (Zugriff am 4. 11. 2023).
- Bundesministerium der Justiz. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung. 05 / 2017. <https://www.gesetze-im-internet.de/strlshg/> (Zugriff am 03. 11. 2023).
- Bundeszentrale für politische Bildung. Bevölkerung nach Bundesländern. 10. 08. 2020. <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/soziale-situation-in-deutschland/61535/bevoelkerung-nach-bundeslaendern/> (Zugriff am 17. 12. 2023).
- Bund-Länder-Demographie-Portal. Regionale Alterung. 2022. <https://www.demografieportal.de/DE/Fakten/aeltere-bevoelkerung-regional.html?nn=676784> (Zugriff am 07. 07. 2023).
- Deutschlandatlas - Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. Bevölkerungsdichte. 2022. <https://www.deutschlandatlas.bund.de/DE/Karten/Wo-wir-leben/006-Bevoelkerungsdichte.html> (Zugriff am 27. 12. 2023).
- Mukharesh, L. et al. 2022. Environmental radon and childhood asthma. *Pediatric pulmonology*, 3165–3168.
- Nyhan, M. M. et al. 2019. Associations between ambient particle radioactivity and lung function. *Environment international*.
- Reuther, I. M. 2023. A closer look: additional study of relationship between indoor radon exposure and the Covid-19 case fatality rate. Abstract, Paper noch nicht veröffentlicht, https://wmcaus.org/files/WMCAUS2023_Book.pdf (Zugriff am 03. 12. 2023).
- Reuther, I. M. 2022. Study of relationship between indoor radon exposure and the Covid-19 case fatality rate. Conference Proceedings: World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium - WMCAUS 2022.
- Robert Koch-Institut. Aktuelle Situationsberichte, Wochenberichte und COVID-19-Trends im Überblick. 2023. https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Situationsberichte/Gesamt.html (letzter Zugriff am 04. 12. 2023).
- Tagesspiegel. Alle Corona-Fälle in den Landkreisen, Bundesländern und weltweit. 27. 12. 2023. <https://interaktiv.tagesspiegel.de/lab/karte-sars-cov-2-in-deutschland-landkreise/> (Zugriff am 27. 12. 2023).
- Wang, Veronica A. et al. 2024. Particle radioactivity from radon decay products and reduced pulmonary function among chronic obstructive pulmonary disease patients. *Environmental research*.