

Kurzstellungnahme zum Bericht „Radioaktivität aus den Tagebaugebieten in NRW“ des LANUV

Darmstadt, den 23.10.2013

Im Auftrag des

Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Öko-Institut e.V.

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

D-64295 Darmstadt

Telefon +49 (0) 6151 - 8191 - 0

Fax +49 (0) 6151 - 8191 - 133

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71

D-79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173

D-79100 Freiburg

Telefon +49 (0) 7 61 - 4 52 95-0

Fax +49 (0) 7 61 - 452 95-288

Büro Berlin

Schicklerstr. 5-7

D-10179 Berlin

Telefon +49 (0) 30 - 40 50 85-0

Fax +49 (0) 30 - 40 50 85-388

**Kurzstellungnahme zum Bericht
„Radioaktivität aus den Tagebauge-
bieten in NRW“ des LANUV**

Autoren:

Dipl.-Phys. Christian Küppers

Dipl.-Ing. Manuel Claus

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	1
1 Einleitung	2
2 Mechanismen der Freisetzung und Anlagerung von Radioaktivität an Stäuben	2
2.1 Sachstand zu den betrachteten Mechanismen.....	2
2.2 Bewertung durch das Öko-Institut	3
3 Messreihen Dritter und deren fachliche Bewertung durch das LANUV	3
3.1 Sachstand zu den durch Dritte durchgeführten Messungen.....	3
3.2 Sachstand zur Auswertung und Bewertung der Messungen Dritter durch das LANUV	4
3.2.1 Radonkonzentrationen.....	4
3.2.2 Feinstaubproben.....	4
3.2.3 Messungen der TU Darmstadt mittels Rasterelektronenmikroskopie	5
3.3 Methodik der Auswertungen.....	5
3.4 Bewertung durch das Öko-Institut	6
3.4.1 Wahl der Messgrößen	6
3.4.2 Vollständigkeit der Messkampagnen	8
4 Messreihen des LANUV	8
4.1 Sachstand zu den durchgeführten Messreihen	8
4.2 Sachstand zu der Auswertung und Bewertung.....	9
4.3 Methodik der Auswertungen.....	9
4.4 Bewertung durch das Öko-Institut	9
5 Vorgebrachte Einwände und Argumente Dritter und deren fachliche Bewertung durch das LANUV	10
5.1 Sachstand zu der Bewertung der Argumente Dritter durch das LANUV	10
5.2 Bewertung durch das Öko-Institut	10
6 Verwendete Bewertungsmaßstäbe des LANUV	11
6.1 Sachstand zu verwendeten Bewertungsmaßstäben	11
6.2 Bewertung durch das Öko-Institut	12
7 Dosisberechnung	13
7.1 Sachstand der Dosisberechnung durch das LANUV	13
7.2 Bewertung durch das Öko-Institut	13
7.3 Dosisberechnung durch das Öko-Institut	14
7.3.1 Annahmen und Berechnungsgrundlagen.....	14

7.3.2	Ergebnisse der Dosisberechnung.....	15
8	Zusammenfassende Schlussfolgerungen.....	17
	Literaturverzeichnis	19

Abbildungsverzeichnis

Abb. 7.1:	Vergleichende Darstellung der Ingestion von sonstigem Gemüse	17
-----------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tab. 7.1:	Eingangsgrößen für die Dosisberechnung	14
Tab. 7.2:	Werte zur natürlichen Untergrundaktivität	15
Tab. 7.3:	Ergebnisse der Dosisberechnungen	17

Kurzfassung

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) hat bisherige und eigene neue Untersuchungen mit dem Ziel der abschließenden Begutachtung hinsichtlich des radiologischen Belastungspotentials durch den Tagebau in Nordrhein-Westfalen ausgewertet und dazu einen Bericht erstellt. Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen hat das Öko-Institut e.V. um eine Kurzstellungnahme zum Gutachten des LANUV gebeten.

Es werden durch das Öko-Institut einige Empfehlungen gegeben, die insbesondere mögliche Verbesserungen des Berichts des LANUV und Möglichkeiten erweiterter Erkenntnisse im Falle zukünftiger Messungen darstellen. Die grundsätzlichen Ergebnisse und Schlussfolgerungen des LANUV-Berichts sind davon nicht tangiert. Das Öko-Institut stimmt grundsätzlich mit der Methodik der Auswertung und Bewertung im LANUV-Bericht überein.

Um die Relevanz noch bestehender Unsicherheiten bewerten zu können, wird eine eigene Dosisberechnung vorgenommen. Die Ergebnisse der Dosisberechnung sind als konservativ und als vorsichtige Abschätzung anzusehen. Dennoch weisen auch diese Ergebnisse auf keine relevante radiologische Belastung hin. Da die vorliegenden Messergebnisse für diese Schlussfolgerung bereits ausreichend sind, sind weitere Messungen nicht zwingend erforderlich. Durch weitere Messungen könnten zwar Unsicherheiten reduziert werden, was aber aufgrund der konservativen Herangehensweise zu keinen höheren anzunehmenden Strahlenexpositionen führen könnte, sondern nur zu niedrigeren.

1 Einleitung

Eine Kontroverse bezüglich radioaktiver Belastung durch Feinstaubemissionen aus den Tagebaugebieten in Nordrhein-Westfalen, welche von der Gemeinde Niederzier bereits im Jahr 2003 initiiert wurde, veranlasste das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) zu einer Betrachtung bisheriger und neuer Untersuchungen mit dem Ziel der abschließenden Begutachtung hinsichtlich des Belastungspotentials /LANUV 2013/. In diesem Bericht vom 23. Mai 2013 wertet das LANUV Messreihen zur Radioaktivität anhand von Messungen zu Aktivitätskonzentrationen und Dosisbetrachtungen aus.

Das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen hat das Öko-Institut e.V. um eine Kurzstellungnahme zum Gutachten des LANUV gebeten.

In Kapitel 2 wird auf die Mechanismen der Freisetzung und Anlagerung von Radioaktivität an Stäuben eingegangen. Die durchgeführten Messreihen werden in Kapitel 3 (Messreihen Dritter) und Kapitel 4 (Messreihen des LANUV) dargestellt und bewertet. Kapitel 5 befasst sich mit vorgebrachten Einwänden und Argumenten Dritter und deren fachlicher Bewertung durch das LANUV. Kapitel 6 geht auf die vom LANUV verwendeten Bewertungsmaßstäbe ein. In Kapitel 7 wird die Dosisberechnung des LANUV bewertet und eine eigene Dosisberechnung durchgeführt. Zusammenfassende Schlussfolgerungen finden sich in Kapitel 8.

2 Mechanismen der Freisetzung und Anlagerung von Radioaktivität an Stäuben

2.1 Sachstand zu den betrachteten Mechanismen

In /LANUV 2013/ werden die grundsätzlichen Mechanismen zur Freisetzung radioaktiver Nuklide der Zerfallskette des natürlichen Uran-238 aus dem Tagebau in die Biosphäre qualitativ beschrieben. Dabei wird unterschieden zwischen der Freisetzung des gasförmigen Radon-222 durch Erdspalten und der Zerkleinerung mit anschließender Freisetzung von Partikeln durch die Bergbautätigkeiten. Diese Partikel beinhalten die natürliche Zusammensetzung der Braunkohle und damit auch Uran-238 und dessen Folgeprodukte.

Der Bericht des LANUV diskutiert zwei Quellen einer Strahlenexposition:

- gasförmig in der Umgebungsluft vorliegendes Rn-222 sowie
- eine Anlagerung von Folgeprodukten des Radons an Feinstaub-Partikel (Adhäsion).

2.2 Bewertung durch das Öko-Institut

Die Betrachtung der Radon-222-Aktivität bodennaher Luft sowie der Aktivitätskonzentration von Feinstäuben durch das LANUV ist wichtige Grundlage, um mögliche Strahlenexpositionen beurteilen zu können.

Der genaue Mechanismus der Adhäsion und der damit verbundenen Anreicherung der langlebigen radioaktiven Isotope an Partikel ist nicht geklärt. Eine exakte wissenschaftliche Klärung ist aber auch nicht erforderlich, wenn Messgrößen und Messungen eine abschließende Beurteilung möglicher Strahlenexpositionen ermöglichen. Wo Unsicherheiten bestehen, sollten konservative Annahmen bei der Abschätzung möglicher Strahlenexpositionen getroffen werden. Die Dosis und das daraus resultierende Gesundheitsrisiko sind die letztlich für die Bewertung der Relevanz des Einflusses des Tagebaus entscheidenden Größen.

3 Messreihen Dritter und deren fachliche Bewertung durch das LANUV

3.1 Sachstand zu den durch Dritte durchgeführten Messungen

Durch das LANUV wurden vorhandene Daten von Messreihen, die durch Dritte durchgeführt worden sind, bezüglich der Radonkonzentration sowohl im Tagebaubereich als auch an Umgebungsstandorten betrachtet. Im Einzelnen sind dies:

- Untersuchungen zu Radonkonzentrationen an 19 Standorten über einen Zeitraum von 15 Monaten jeweils in 1 Meter Höhe durch das Materialprüfungsamt (MPA) NRW,
- Untersuchungen zu Radonkonzentrationen an 9 Standorten über einen Zeitraum von 11 Monaten jeweils in 1,5 Metern Höhe durch das Forschungszentrum (FZ) Jülich.
- Untersuchungen des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) zur Radonkonzentration im gesamten Bundesgebiet sowie speziell in der niederrheinischen Tiefebene.

Es wurden durch Dritte außerdem Staubfraktionen der Größen PM-10 und der lungengängigen Fraktionen der Größen PM-2,5 sowie PM-0,8 und PM-0,2 auf Gesamt-Alpha-Aktivität hin untersucht. Die Messreihen des MPA NRW beinhalten auch die Gesamt-Beta-Aktivität sowie eine Gamma-Spektrometrie zur Aktivitätsbestimmung des Blei-210. Die Messreihen erfolgten nicht über kontinuierliche Zeiträume. Die ausgemessenen Feinstaubfilter stammen aus folgenden Messstationen:

- PM-10 Feinstaubproben aus Feinstaubfiltern des LANUV an den Standorten Niederzier und Elsdorf. Die Durchführung der Messungen erfolgte durch das MPA NRW.
- PM-2,5 Feinstaubproben am Meteorologie-Turm des FZ Jülich in 30 und 120 Metern Höhe. Die Durchführung erfolgte durch das FZ Jülich.
- PM-0,8 und PM-0,2 Feinstaubproben ebenfalls an den Standorten Niederzier und Elsdorf. Die Durchführung erfolgte durch das FZ Jülich.

Weiterhin wurde vom Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt, Prof. Dr. Weinbruch, eine Feinstaubanalyse mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) der Fraktionen PM-10 und PM-1 durchgeführt. Auch auf diese Studie weist das LANUV ausdrücklich hin. Demnach sind am Standort Niederzier ca. 20 % bis 25 % und am Standort Elsdorf ca. 12 % bis 15 % der PM-10 Fraktionen ursächlich dem Tagebau Hambach zuzurechnen. Die PM-1 Fraktionen werden zu 3 % bzw. 2 % dem Tagebau zugerechnet.

3.2 Sachstand zur Auswertung und Bewertung der Messungen Dritter durch das LANUV

Im vorliegenden Bericht des LANUV werden die unter Kapitel 3.1 genannten Messreihen zusammenfassend beschrieben und ausgewertet.

3.2.1 Radonkonzentrationen

Zu den gemessenen Radonkonzentrationen werden Aussagen zu Mittelwerten getroffen. Der Bericht legt dar, dass Schwankungen der Radonkonzentrationen mit der Entfernung zu den Bergbaugebieten und der Jahreszeit nicht erkennbar sind. Der Mittelwert aus Radon-222-Messungen des MPA beträgt demnach 18 Bq/m^3 , der Mittelwert aus Messungen des FZ Jülich 8 Bq/m^3 für. Dieser signifikante Unterschied wird im LANUV-Bericht durch die unterschiedliche Höhe der Probenahme (1 Meter bzw. 1,5 Meter) qualitativ begründet.

Die Mittelwerte werden zu allgemeinen Radon-Messungen des Bundesamtes für Strahlenschutz, die deutschlandweit, aber auch in den Regionen des Niederrheins durchgeführt worden sind, in Beziehung gesetzt. Das LANUV kommt zu dem Schluss, dass alle Messungen im Bereich des Tagebaus und an den umliegenden Messstationen im normalen Konzentrationsbereich der niederrheinischen Tiefebene liegen.

3.2.2 Feinstaubproben

Zu den Daten zu Gesamt-Alpha-Aktivitäten der PM-10-Feinstaubproben (MPA NRW) werden Aussagen sowohl zu den Bandbreiten als auch den Mittelwerten ein-

zelner Stichproben getroffen. Die Ergebnisse der Gamma-Spektrometrie weisen auf eine niedrige Blei-210-Aktivität hin.

Die Gesamt-Alpha-Aktivitäten werden vom LANUV mit den in den Berechnungsgrundlagen Bergbau /BglBb 2010/ angegebenen Werten für die natürliche Alpha-Aktivität bodennaher Luft verglichen. Demnach liegen die in der Umgebung des Tagebaus gemessenen Werte im Mittel leicht über diesen Werten der Berechnungsgrundlagen Bergbau, die als mindestens ansetzbarer natürlicher Hintergrund zu verstehen sind.

Die Ergebnisse der Alpha-Aktivität der PM-2,5-Feinstaubproben am Meteorologiemast des FZ Jülich lassen gemäß LANUV Aussagen darüber zu, dass die Blei-210-Aktivitätskonzentration innerhalb der natürlich vorkommenden Schwankungsbreite, wie sie im Jahresbericht 2002 „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vorgestellt worden ist, liegen. Außerdem war keine Erhöhung der Aktivität feststellbar, wenn Wind aus Richtung des Tagebaus vorherrschte.

Die Ergebnisse der Alpha-Aktivität der PM-0,8- und PM-0,2-Feinstaubproben werden ebenfalls – wie bereits die PM-10-Fractionen – zu den in den Berechnungsgrundlagen Bergbau angegebenen Werten für die natürliche Alpha-Aktivität bodennaher Luft in Beziehung gesetzt. Auch in diesem Fall liegen die gemessenen Werte im Mittel unterhalb dieser Bezugsgröße. Da die Alpha-Aktivität im Mittel auf der dem Wind zugewandten Seite (der Luv-Lage des Tagebaus) höher als auf der dem Wind abgewandten Seite (der Lee-Lage des Tagebaus) gewesen ist, gelangt der Bericht des LANUV zur Einschätzung, dass ein radiologisch bedeutsamer Austrag aus der gesamten Tagebaufläche unwahrscheinlich ist.

3.2.3 Messungen der TU Darmstadt mittels Rasterelektronenmikroskopie

Der Anteil des Beitrags des Tagebaus Hambach zur Feinstaubfraktionen wird durch das LANUV nicht bewertet. Das LANUV hat sich nicht näher mit den Ergebnissen der TU Darmstadt beschäftigt.

3.3 Methodik der Auswertungen

Der Bericht des LANUV stützt seine Bewertung auf umfangreiche Messungen, die im Falle der Radon-Messungen kontinuierliche Zeiträume betrachten, im Falle der Untersuchungen der Staubfraktionen zeitliche Stichproben darstellen. Die Messwerte werden zeitlich gemittelt. Im Falle einer großen Schwankungsbreite werden zusätzlich Minimal- und Maximalwerte angegeben, um generell aufzuzeigen, dass erhebliche Schwankungen sowohl der Aktivitätskonzentration von Radon-222 als auch der Gesamt-Alpha-Aktivität untersuchter Staubfraktionen bestehen und diese von vielerlei natürlichen Faktoren abhängen. Solche Faktoren sind beispielsweise

Art und Zusammensetzung des geologischen Untergrunds oder die meteorologischen Verhältnisse.

Messungen wurden sowohl in Bereichen des Tagebaus, in Wind zu- und abgewandten Seiten dieser Bereiche, als auch an Referenzstandorten durchgeführt, um ein Bild davon zu bekommen, ob ein Beitrag zu Strahlenexposition durch den Tagebau wahrscheinlich ist.

Auf die bei der Bewertung der Messwerte durch das LANUV herangezogenen Bewertungsmaßstäbe wird hier in Kapitel 6 eingegangen.

3.4 Bewertung durch das Öko-Institut

3.4.1 Wahl der Messgrößen

Radon-222-Konzentration

Rn-222 wird als Indikator für eine natürliche radiologische Exposition aufgegriffen. Durch zeitlich kontinuierliche Messungen konnte gezeigt werden, dass die Rn-222-Konzentration im Bereich der natürlichen Schwankungsbreite liegt. Der Frage einer Korrelation mit an Feinstaub gebundener Aktivität wurde nicht nachgegangen.

Die deutlich unterschiedlichen Messwerte des MPA-NRW in Abbildung 3 des Berichts /LANUV 2013/ werden vom LANUV auf die unterschiedliche Messhöhe zurückgeführt. Qualitativ ist dies nachvollziehbar; ob allerdings der Unterschied auch quantitativ – und damit ausschließlich – durch die Messhöhe resultiert, kann mit den bisherigen Untersuchungen nicht belegt werden.

Um den Einfluss der Messhöhe auf die Ergebnisse der Messungen von Rn-222-Konzentrationen quantitativ zu untersuchen, müssten Vergleichsmessungen unter sonst gleichen Randbedingungen in 1 m und 1,5 m Höhe durchgeführt werden. Es können aber auch die Konzentrationen, die in einer Höhe von 1 m gemessen wurden, für eine Berechnung der effektiven Dosis herangezogen werden, um in einer konservativen Betrachtung zu überprüfen, ob dies im Hinblick auf die Erheblichkeit einer möglichen zusätzlichen Dosis von Belang ist (siehe Kapitel 7.3).

Gesamt-Alpha-Aktivität unterschiedlicher Feinstaubfraktionen

Da die Rn-222-Messungen allein nicht ausreichend zur Abschätzung einer möglichen Strahlenexposition sind, war es sinnvoll, verschiedene Größenfraktionen der Stäube auf deren Aktivität hin zu untersuchen. Die Gesamt-Alpha-Aktivität ist ein hinreichender Indikator, um eine eventuelle erhöhte radiologische Exposition durch Stäube aufzuzeigen. Im Umkehrschluss ist es auch grundsätzlich möglich, mit solchen Untersuchungen eine erhöhte Exposition auszuschließen.

Die Gesamt-Alpha-Aktivität wird in der Einheit Bq/m³ angegeben. Dies ergibt sich aus der eingesetzten Messtechnik, da hier die ausgemessene Aktivität eines Filters

auf den Luftdurchsatz durch den Filter bezogen wird. Zur Berechnung der Dosis durch Inhalation ist dies zweckmäßig, da dann in Verbindung mit der Atemrate des Menschen (m^3/h) die eingeatmete Aktivität (Bq/h) ermittelt werden kann. Ebenso ist die Berechnung der Dosis durch Ingestion nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau möglich (siehe Kapitel 7).

Andererseits wäre es für die Gesamtschau zweckmäßig, zusätzlich zum Bezug der Gesamt-Alpha-Aktivität auf das Volumen der Luft auch die Aktivität massenbezogen anzugeben (Bq/g). So ließe sich klären, ob die Gesamt-Alpha-Aktivität direkt mit der Feinstaubkonzentration (in g/m^3) korreliert.

Empfehlung:

Die Angabe der Gesamt-Alpha-Aktivität der Luft in der Einheit Bq/m^3 kann verwendet werden, um die Dosis durch Inhalation und Ingestion konservativ zu berechnen. Bei zukünftigen Messungen der Gesamtaktivität in Bq/m^3 könnten parallel zusätzliche Messungen der Feinstaubkonzentration in g/m^3 durchgeführt werden, da sich so klären ließe, ob die Gesamt-Alpha-Aktivität direkt mit der Feinstaubkonzentration korreliert. Zwingend erforderlich ist dies zur Einschätzung der Belastungssituation jedoch gemäß den Ergebnissen der Dosisbetrachtungen in Kapitel 7.3 nicht.

Po-210- und Pb-210-Aktivität der Feinstaubproben

Die spektrometrische Auswertung zur Bestimmung der Nuklidkonzentration von Po-210 und Pb-210 in Feinstaub ist sinnvoll, da sich diese als langlebige und radiologisch relevante Folgeprodukte des Rn-222 in den Stäuben erwartungsgemäß nachweisen lassen.

Zu den Messungen des LANUV (s. Ziffer 4): Ausgehend von der zwischen Probenahme und Analyse verstrichenen Zeit müssen die Messwerte der nuklidspezifischen sowie der Gesamt-Alpha-Aktivität korrigiert werden. Aus dem Beta-Zerfall des Pb-210 entsteht der Alpha-Strahler Po-210, wobei aufgrund der kürzeren Halbwertszeit des Tochternuklids die spezifische Aktivität der Probe ansteigt. Der Korrekturfaktor kann aber nur berechnet werden, wenn zu einer einzelnen Probe Messwerte von Mutter- und Tochternuklid vorliegen. Im Bericht des LANUV wird ausgeführt, dass eine Korrektur der Messwerte um den Faktor ca. 0,5 erforderlich war, wobei dieser aber nicht im Detail begründet wurde. Dem Korrekturfaktor des LANUV-Berichts liegen umfangreiche Messungen zugrunde, die in einem Bericht des FZ Jülich dokumentiert worden sind. Auf diesen Bericht des FZ Jülich wird aber im LANUV-Bericht nicht Bezug genommen, so dass die Herkunft des Korrekturfaktors im LANUV-Bericht nicht nachvollziehbar ist.

Da weder dem LANUV noch dem Öko-Institut Angaben zur nuklidspezifischen Zusammensetzung der Feinstaubproben vorliegen, wurde die mögliche Strahlenexposition über die Gesamt-Alpha-Aktivität unter konservativen Annahmen ermittelt.

Empfehlungen:

Der Korrekturfaktor von 0,5 sollte im Bericht des LANUV unter Verweis auf die im entsprechenden Bericht des FZ Jülich ausgewerteten Messergebnisse begründet werden.

3.4.2 Vollständigkeit der Messkampagnen

Während die Rn-222-Messungen über kontinuierliche Zeiträume erfolgt sind, stellen die Messungen zu den Feinstaubproben Stichproben dar.

Die REM-Messungen sind aus Sicht des Öko-Instituts ein Beleg für einen relevanten Beitrag des Tagebaus auf die Feinstaubbelastung, jedoch kein Beleg für eine erhöhte radiologische Exposition.

Während zur Untersuchung der PM-10-Feinstaubproben Angaben zur Bestaubungszeit (24 h) gemacht werden, fehlen diese Angaben zur Untersuchung der feineren Fraktionen. Eine Abhängigkeit von der Windrichtung konnte durch das LANUV nicht festgestellt werden. Aufgrund der Ergebnisse der Betrachtung möglicher Strahlenexpositionen in Kapitel 7.3 ergibt sich kein zwingender Bedarf, der Frage einer Windrichtungsabhängigkeit weiter nachzugehen.

4 Messreihen des LANUV

4.1 Sachstand zu den durchgeführten Messreihen

Zusätzlich zu den bereits in den Kapiteln 3.1 und 3.2.2 beschriebenen Messreihen veranlasste das LANUV eigene stichprobenartige Messungen. Es wurden dabei die Filterbänder des Luftqualitätsmessnetzes des LANUV, sowie auch Feinstaubfilter an Standorten in Essen, Köln (Verkehrsmessstationen) und Warstein (Steinbruch) beprobt und ausgemessen. Es wurden ausschließlich PM-10 Feinstaubfilter ausgewertet. Die Alpha-Aktivitätsmessungen führten im Auftrag des LANUV (in Absprache mit dem MKULNV) das FZ Jülich und das Landesinstitut für Arbeitsgestaltung (LIA) durch.

Diese Messungen beinhalten:

- Gesamt-Alpha-Aktivitätsbestimmungen und
- Aufnahmen der Po-210-Aktivität anhand von Alpha- und Gamma-Spektrometrie.

Es handelt sich um keinen kontinuierlichen Messzeitraum.

4.2 Sachstand zu der Auswertung und Bewertung

Im Bericht des LANUV werden die Messwerte anhand von Mittelwerten betrachtet; in einigen Fällen sind auch Minimal- und Maximalwerte angegeben. Die Mittelwerte der Gesamt-Alpha-Aktivität sind dann korrigiert, wenn zwischen der Probenahme und der Aktivitätsbestimmung einige Zeit verstrichen ist. Durch das Anwachsen des Folgenuklids Po-210 aus Pb-210 steigt die Alpha-Aktivität in den Proben kontinuierlich an (zur Nachvollziehbarkeit des Korrekturfaktors von 0,5 siehe Kapitel 3.4.1).

Ein besonders hoher (korrigierter Mittel-) Wert am Standort Niederzier von $7,5E-04$ Bq/m³ Gesamt-Alpha-Aktivität wird im LANUV-Bericht vertieft betrachtet, da dieser Wert bis zu einer Größenordnung über den sonstigen Messwerten liegt. Die Ursache liegt nach Einschätzung des LANUV darin, dass die allgemeine Feinstaub-Hintergrundbelastung im relevanten Zeitraum (November 2011) erhöht gewesen ist. Als Beleg dafür wird der Bericht zur „Luftqualität 2011“ des Umweltbundesamts (UBA) zitiert.

Die sonstigen Messwerte am Standort Niederzier, am Standort Elsdorf-Angelsdorf, den Verkehrsstationen Essen und Köln sowie am Steinbruch Warstein liegen innerhalb der Schwankungsbreite der Messungen, wie sie das MPA im Jahr 2005 durchgeführt hat (siehe Kapitel 3.2.2).

4.3 Methodik der Auswertungen

Analog zur Auswertung der Messkampagnen Dritter (Kapitel 3.3) werden durch das LANUV zeitliche Mittelwerte zur Bewertung herangezogen.

Zur Bewertung der Messwerte werden Bewertungsmaßstäbe herangezogen, auf die hier in Kapitel 6 eingegangen wird.

Messungen wurden sowohl in Bereichen des Tagebaus als auch an Referenzstandorten durchgeführt, um ein Bild davon zu bekommen, ob ein Beitrag zu Strahlenexposition durch den Einfluss des Tagebaus wahrscheinlich ist.

4.4 Bewertung durch das Öko-Institut

Das LANUV ergänzt die von Dritten durchgeführten Messungen zur Untersuchung von Feinstaubproben (siehe Kapitel 3.2.2) durch weitere Stichproben. Ziel des LANUV war es dabei, zu überprüfen, ob sich Änderungen gegenüber dem bisherigen Bild erkennen lassen. Hinweise auf Änderungen gegenüber den durch Dritte durchgeführten Messungen ergeben sich aber nicht.

Die vermutete Ursache, dass die Feinstaub-Hintergrundbelastung für den erhöhten Messwert im November 2011 verantwortlich ist, ist qualitativer Natur.

Eine Messkampagne, die eine zeitlich kontinuierliche Gesamtschau ermöglichen würde, ist aufgrund der Ergebnisse der Dosisbetrachtungen in Kapitel 7.3 zur Einschätzung der Belastungssituation nicht zwingend erforderlich.

Die Wahl der Messgrößen wird bereits in Kapitel 3.4.1 beschrieben und bewertet.

Empfehlung:

Bei zukünftigen Messungen der Gesamtaktivität in Bq/m³ könnten parallel zusätzliche Messungen der Feinstaubkonzentration in g/m³ durchgeführt werden, da sich so klären ließe, ob die Gesamt-Alpha-Aktivität direkt mit der Feinstaubkonzentration korreliert (siehe auch Kapitel 3.4.1).

5 Vorgebrachte Einwände und Argumente Dritter und deren fachliche Bewertung durch das LANUV

5.1 Sachstand zu der Bewertung der Argumente Dritter durch das LANUV

Im Bericht wird auf insgesamt vier Argumente Dritter näher eingegangen.

Das erste Argument, dass es in Staubfraktionen zu einer Anreicherung bzw. Aufkonzentrierung der Radioaktivität kommen könnte, kann von Seiten des LANUV nicht nachvollzogen werden. Es wird durch das LANUV außerdem dargelegt, dass die Freigabewerte der StrlSchV kein geeigneter Bewertungsmaßstab sind.

Das zweite Argument, dass durch die Erdbewegungen Rn-222 freigesetzt werden könnte und der Austrag mit Wasser und Luft erhöht wird, ist aus Sicht des LANUV Gegenstand des Berichts und hinreichend widerlegt worden.

Das dritte Argument, dass Feinstäube mit einer Größenordnung <2,5 µm eine besondere radiologische Belastung darstellen, ist aus Sicht des LANUV durch die zitierten Messreihen hinreichend widerlegt worden.

Das vierte Argument, dass die Berechnung der effektiven Dosis einzelne Organdosen vernachlässige, wird durch das LANUV korrigiert, indem die Berechnung der effektiven Dosis als Summe der gewichteten Organdosen erläutert wird.

5.2 Bewertung durch das Öko-Institut

Die Vermutung, dass es in der Staubfraktion zu einer Anreicherung bzw. Aufkonzentrierung der Radioaktivität kommen könnte, kann aus den vorhandenen Messwerten der Bürgerinitiative nicht nachvollzogen werden. Darüber hinaus scheinen Verständnisschwierigkeiten vorzuliegen.

Im zweiten Argument Dritter wird auch auf einen Aktivitätseintrag in Wasser abgehoben. Das LANUV stellt in seinem Bericht fest: „Untersuchungen zur Freisetzung

mit dem Grundwasser oder Spülwasser liegen dem LANUV nicht vor.“ Dennoch wird zusammenfassend zu den Argumenten ausgeführt: „Die vorgebrachten Argumente der Bürgerinitiative sind nicht nachvollziehbar und insgesamt durch Messungen widerlegt worden.“

Zur Bewertung der Messgrößen (drittes Argument) siehe Kapitel 3.4.1.

Zur Bewertung der Dosisberechnung siehe Kapitel 7.

Empfehlungen:

Die Aussage im Bericht des LANUV, dass alle vorgebrachten Argumente der Bürgerinitiative insgesamt durch Messungen widerlegt wurden, sollte relativiert werden, da nicht durchgängig Messungen (wohl aber andere Betrachtungen) dazu vorliegen.

Der Dialog mit der Bürgerinitiative interessierten Öffentlichkeit sollte aufrechterhalten werden. Untersuchungsergebnisse sollten transparent kommuniziert und bei zukünftigen Untersuchungen beispielsweise die Bürgerinitiative ggf. schon beim Untersuchungskonzept mit einbezogen werden.

6 Verwendete Bewertungsmaßstäbe des LANUV

6.1 Sachstand zu verwendeten Bewertungsmaßstäben

Der vorliegende Bericht des LANUV führt an verschiedenen Stellen unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe ein, um die Ergebnisse der Messreihen daran anzulegen.

Diese sind:

- Mittelwerte der Rn-222-Aktivitätskonzentration aus dem Jahresbericht 2010 des BfS,
- Mittelwerte der Pb-210-Aktivitätskonzentration aus dem Jahresbericht 2002 des BMU,
- Mittelwerte zur Feinstaub Hintergrundbelastung aus dem Bericht zur „Luftqualität 2011“ des UBA,
- die in den Berechnungsgrundlagen Bergbau angegebenen repräsentativen Werte für die natürliche Rn-222-Konzentration,
- der in den Berechnungsgrundlagen Bergbau angegebene Wert für natürliche Alpha-Aktivitätskonzentration bodennaher Luft ($8E-05 \text{ Bq/m}^3$),
- § 46 StrlSchV, in dem der Grenzwert der effektiven Dosis durch Strahlenexpositionen von 1 mSv im Kalenderjahr aus Tätigkeiten nach § 2 Abs.1 Nr.1 StrlSchV angegeben wird,
- § 47 StrlSchV, in dem der Grenzwert der Organdosis für die Lunge durch Ableitungen radioaktiver Stoffe bei Tätigkeiten festgelegt ist (0,9 mSv im Kalenderjahr),

- die mittlere natürliche Strahlenexposition in Höhe von 2,1 mSv effektiver Dosis im Jahr in Deutschland.

6.2 Bewertung durch das Öko-Institut

Die Mittelwerte des Rn-222 und des Pb-210 (oder anderer natürlicher Radionuklide) der von LANUV herangezogenen Jahresberichte sind geeignet, um festzustellen, ob sich die Konzentrationen jeweiliger Nuklide innerhalb der natürlichen Schwankungsbreite bewegen.

Die Zeitreihen zu den Mittelwertmessungen zur Feinstaubkonzentration begründen die Hypothese, dass ein erhöhter Messwert ($7,5E-04 \text{ Bq/m}^3$) der PM-10-Fraktion durch den globalen Feinstaubhintergrund bedingt sein könnte. Diese Hypothese kann derzeit aber nicht abschließend bewiesen werden, da nur ein einziger zeitlich gemittelter Messwert vorliegt.

Der vermutete ursächliche Zusammenhang zwischen natürlicher Feinstaubbelastung und gemessener Alpha-Gesamt-Aktivität müsste im Falle zukünftiger Messungen der Gesamtaktivität in Bq/m^3 durch zusätzliche Messungen der Feinstaubkonzentration in g/m^3 geprüft werden. Dies ist jedoch aufgrund der Ergebnisse der Dosisbetrachtungen zur Einschätzung der Belastungssituation nicht zwingend erforderlich (siehe Kapitel 7.3).

Nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau lässt sich die effektive Dosis (beispielsweise aus Inhalation) aus der Differenz der gemessenen Aktivitätskonzentration und der natürlichen Untergrund-Aktivitätskonzentration berechnen. Seitens des LANUV wurde insofern konservativ vorgegangen, als ein solcher Abzug für die Dosisbetrachtungen nicht vorgenommen wurde.

Empfehlung:

Die effektive Dosis sollte nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau berechnet werden, wenn eine positive Differenz aus gemessenen Werten und den in den Berechnungsgrundlagen Bergbau angegebenen Werten zur Umweltradioaktivität vorliegt.

Die Vergleichsmaßstäbe Lungendosisgrenzwert § 47 StrlSchV, Grenzwert der effektiven Dosis nach § 46 StrlSchV und Mittelwert der effektiven Dosis aus natürlichen Quellen in Deutschland, sind im Grundsatz zur Bewertung im vorliegenden Zusammenhang geeignet.

Die Grenzwerte nach § 47 StrlSchV gelten für Ableitungen aus Tätigkeiten. Der Grenzwert nach § 46 StrlSchV gilt für die Gesamtexposition aus Tätigkeiten. Beide sind also für den hier betrachteten Zusammenhang nicht einschlägig. Sie können aber zum Vergleich herangezogen werden, um zu prüfen, ob selbst diese Anforderungen eingehalten wären.

7 Dosisberechnung

7.1 Sachstand der Dosisberechnung durch das LANUV

Die Dosisbetrachtung in Kapitel 4 des Berichts /LANUV 2013/ umfasst die Berechnung der Lungendosis durch Inhalation von Polonium-210 sowie die Berechnung der effektiven Dosis durch Inhalation. Referenzpersonen sind jeweils Erwachsene. Für die Lungendosis durch Polonium-210 wurden Werte von weniger als 0,1 mSv im Jahr ermittelt.

Bei der Berechnung der Lungendosis wird von einem Daueraufenthalt im Freien ausgegangen. Als Dosiskoeffizient für Polonium-210 wird der Wert für die Lungenabsorptionsklasse M verwendet. Als Aktivitätskonzentrationen in der Atemluft werden die gemessenen Feinstaubfraktionen zugrunde gelegt.

Bei der Berechnung der effektiven Dosis wird nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau /BglBb 2010/ vorgegangen, wobei aber konservativ keine natürliche Untergrund-Aktivitätskonzentration abgezogen wurde. Der eingesetzte Inhalationsdosiskoeffizient wurde für ein Gemisch von alpha-strahlenden Radionukliden der natürlichen Zerfallsreihen angenommen. Der höchste Wert der effektiven Dosis beträgt etwa 0,02 mSv im Jahr.

7.2 Bewertung durch das Öko-Institut

Auch wenn bislang keine Hinweise auf eine durch den Tagebau deutlich erhöhte Gesamt-Alpha-Aktivitätskonzentration in der Umgebungsluft vorliegen, ist die Abschätzung möglicher effektiver Dosen ein für die Einordnung eventueller Risiken wichtiges Instrument.

Die Ermittlung der Lungendosis für Erwachsene durch das LANUV ist konservativ. Die erwachsene Referenzperson deckt die anderen Altersgruppen der Strahlenschutzverordnung ab, da den teils höheren Dosiskoeffizienten für Inhalation entsprechend niedrigere Atemraten gegenüber stehen.

Bei der Ermittlung der effektiven Dosis Erwachsener wird nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau vorgegangen, so dass kein ganzjähriger Aufenthalt im Freien mehr unterstellt wird. Die effektiven Dosen sind daher, wie auch durch das LANUV festgestellt, als realistischer einzuschätzen als die Lungendosen.

Das LANUV betrachtete allerdings keine anderen Expositionspfade als die Inhalation. Nach den Berechnungsgrundlagen Bergbau lassen sich aus Aktivitätskonzentrationen der Luft auch Bodenkontaminationen und Ablagerungen auf Pflanzenoberflächen abschätzen (siehe Kapitel 7.3).

7.3 Dosisberechnung durch das Öko-Institut

7.3.1 Annahmen und Berechnungsgrundlagen

Ergänzend zu den Berechnungen des LANUV stellt das Öko-Institut eigene Betrachtungen und Berechnungen zu möglichen Strahlenexpositionen an.

Dazu werden die Messwerte der Gesamt-Alpha-Aktivität von PM-10-Feinstaubproben, der Gamma-Spektrometrie von PM-10-Feinstaubproben und der Radon-222-Aktivität am Standort Niederzier herangezogen (siehe Tab. 7.1).

Es werden sowohl die Beiträge des Po-210 als auch des Pb-210 ermittelt und anschließend summiert. Konservativ wird dabei angenommen, dass die Gesamt-Alpha-Aktivität vollständig auf Po-210 entfällt.

Tab. 7.1: Eingangsgrößen für die Dosisberechnung

Aktivität [Bq/m ³]	Po-210	Pb-210	Rn-222
Höchster Mittelwert*	7,50E-04	6,50E-04	16,5
Mittelwert aus allen Messkampagnen**	3,54E-04	3,05E-04	-

* Für die Berechnung der Dosis durch Inhalation wird konservativ der höchste Mittelwert herangezogen.

** Für die Berechnung der Dosis durch Ingestion wird der Mittelwert aus allen Messkampagnen am Standort herangezogen.

Es wird ausschließlich die innere Strahlenexposition, d.h. die Dosis aus Inhalation von Stäuben und von Radon sowie die Ingestion von abgesetzten Stäuben auf den Boden und lokal angebauten und verzehrten Lebensmitteln bewertet, da die äußere Strahlenexposition durch Gamma-Strahlung des Bodens vernachlässigbar gering ist.

Die betrachteten Expositionspfade sind im Einzelnen:

- Inhalation von Feinstaubfraktionen der Größe PM-10
- Aufnahme von Boden (Direktingestion)
- Verzehr von lokal angebautem Blattgemüse
- Verzehr von lokal angebautem sonstigem Gemüse
- Inhalation von Radon

Die Berechnungen der Strahlendosis erfolgen nach Annahmen und Parametern der Berechnungsgrundlagen Bergbau /BglBb 2010/.

Im Zusammenhang mit den dem Öko-Institut vorliegenden Daten tritt bei Verwendung der Berechnungsgrundlagen Bergbau das Problem auf, dass diese zur Berechnung der Dosis durch Aufnahme von Boden auf Aktivitätskonzentrationen des Bodens zurückgreifen. Berechnet man die Aktivität des Bodens aus Aktivitätskon-

zentrationen der Luft, ist zusätzlich zu den gegebenen Werten eine Annahme dazu nötig, wie tief die Radionuklide in den Boden eindringen und wie groß die Dichte des Bodens ist. Als sehr konservative Annahme wird unterstellt, dass die gesamte Aktivität, die sich auf einem Quadratmeter Fläche absetzt, in einem Kilogramm Boden akkumuliert. Weiterhin wird für die Berechnung der Bodenaktivität von einer Ablagezeit von 50 Jahren ausgegangen.

Es ist ein dominanter Beitrag zur Strahlenexposition durch lokal angebaute Lebensmittel, auf denen sich radioaktive Stäube absetzen, wenn diese in den Mengen verzehrt werden, wie in den Berechnungsgrundlagen Bergbau angegeben, zu erwarten. Es wird wie in den Berechnungsgrundlagen Bergbau davon ausgegangen, dass die Hälfte des verzehrten Blattgemüses sowie des sonstigen Gemüses aus lokalem Anbau bezogen wird. Des Weiteren wird auf die Berechnung der Strahlendosis aufgrund von Verzehr lokal angebauten Obstes verzichtet, da diese Berechnung aufgrund der Annahmen der Berechnungsgrundlagen zur Überschätzung der Dosis führt¹.

Bei der Berechnung der Dosen werden die natürlichen Untergrundaktivitäten der jeweiligen Umweltkompartimente und der Lebensmittel von den gemessenen Aktivitätskonzentrationen subtrahiert (siehe Tab. 7.2).

Tab. 7.2: Werte zur natürlichen Untergrundaktivität

	Po-210	Pb-210	Rn-222
Freiluft [Bq/m³]	4,00E-05	3,10E-04	5*
oberste Bodenschicht [Bq/kg]	5,00E+01	5,00E+01	-
Blattgemüse [Bq/kg]	1,50E-01	1,50E-01	-
sonst. Gemüse [Bq/kg]	3,00E-02	3,00E-02	-

*kleinster Mittelwert aus 15 Städten in Nordrhein-Westfalen

Zur Berechnung der Dosis durch Ingestion von Blattgemüse und sonstigem Gemüse wird sowohl die Deposition auf die Blattoberfläche als auch der Transfer vom Boden in die Pflanze durch Aufnahme über die Wurzeln berücksichtigt.

7.3.2 Ergebnisse der Dosisberechnung

Die Ergebnisse der Dosisberechnung sind für die verschiedenen Altersgruppen der Strahlenschutzverordnung und die einzelnen Expositionspfade in Tabelle 7.3 dargestellt. Der Verzehr lokal angebaute Lebensmittel trägt, wie bei einer Exposition durch Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen zu erwarten, am deutlichsten zur Gesamtdosis bei. Die Direkt ingestion von Boden wäre nur für die Altersgruppen 1-2 Jahre sowie 2-7 Jahre von Bedeutung. Hier ist allerdings anzumerken, dass die

¹ Gegenwärtige Diskussionen in der Fachwelt führen zu Vorbehalten gegenüber Annahmen der Berechnungsgrundlagen Bergbau bei der Berechnung der Kontamination von Obst

Berechnung unter äußerst konservativen Annahmen zur Berechnung der Bodenaktivität erfolgte. Der größte Teil der berechneten Dosis aufgrund des Verzehrs lokal angebaute Lebensmittel rührt von der Staubablagerung auf den Pflanzenoberflächen her. Daher führen die konservativen Annahmen zur Berechnung der Bodenaktivität zu keiner deutlichen systematischen Überschätzung der gesamten effektiven Dosis.

Die Inhalation von PM-10 Feinstaubfraktionen führt, wie bereits im Bericht des LANUV dargestellt, zu einer vernachlässigbaren Dosis. Die Dosis durch Inhalation von Radon-222 und seinen Folgeprodukten wurde wegen bestehender Unsicherheiten aus konservativen Eingangsgrößen (Messwerte in 1 m Höhe) berechnet.

Die berechnete effektive Gesamtdosis beträgt für die Altersgruppe 1-2 Jahre etwa 0,5 mSv im Jahr und entspricht etwa der Hälfte des Grenzwertes nach § 46 StrlSchV und etwa einem Viertel der mittleren natürlichen Strahlenbelastung in Deutschland (vgl. Kapitel 6). Die tatsächliche Dosis kann auch deutlich niedriger sein, da die Dosis hier aufgrund bestehender Unsicherheiten oder fehlender Quantifizierbarkeit in einem vorsichtigen Ansatz abgeschätzt wurde. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass bei der Berechnung analog dem Ansatz der Berechnungsgrundlagen Bergbau von keinen die Kontamination des Blattgemüses und sonstigen Gemüses reduzierenden Effekten bei der Lebensmittelzubereitung ausgegangen wurde. Die Ablagerungsgeschwindigkeit des Staubs, die linear in die Dosis eingeht, könnte geringer sein; in /EC 2002/ wird sie beispielsweise nur mit einem Zehntel des Werts der Berechnungsgrundlagen Bergbau angesetzt. Mit dem Wert nach /EC 2002/ würde sich dann nur ein Zehntel der Dosis durch Verzehr lokal angebaute Lebensmittel ergeben.

Die Berechnung ist sehr konservativ, weil in der Lebenswirklichkeit das Gemüse i.d.R. gewaschen wird und der Verzehr von selbst angebautem Gemüse deutlich geringer ist. Die Ergebnisse der Dosisberechnung sind daher als konservativ und als vorsichtige Abschätzung anzusehen. Von einer systematischen Unterschätzung der Dosis kann nicht ausgegangen werden. Dennoch weisen auch diese Ergebnisse auf keine relevante radiologische Belastung hin. Da die vorliegenden Messergebnisse für diese Schlussfolgerung bereits ausreichend sind, sind weitere Messungen nicht zwingend erforderlich. Durch weitere Messungen könnten zwar Unsicherheiten reduziert werden, was aber aufgrund der konservativen Herangehensweise zu keinen höheren anzunehmenden Strahlenexpositionen führen könnte, sondern nur zu niedrigeren.

Tab. 7.3: Ergebnisse der Dosisberechnungen

Dosis in mSv/a		Altersgruppe					
		<1 a	1-2 a	2-7 a	7-12 a	12-17 a	>17 a
Expositionspfade	Inhalation Feinstaub	0,003	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005
	Direkt-ingestion	0,000	0,030	0,011	0,002	0,002	0,001
	Verzehr Blattgemüse	0,185	0,135	0,085	0,076	0,074	0,045
	Verzehr sonstiges Gemüse	0,234	0,291	0,277	0,227	0,183	0,107
	Inhalation Radon	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
Summe		0,478	0,516	0,433	0,365	0,320	0,214

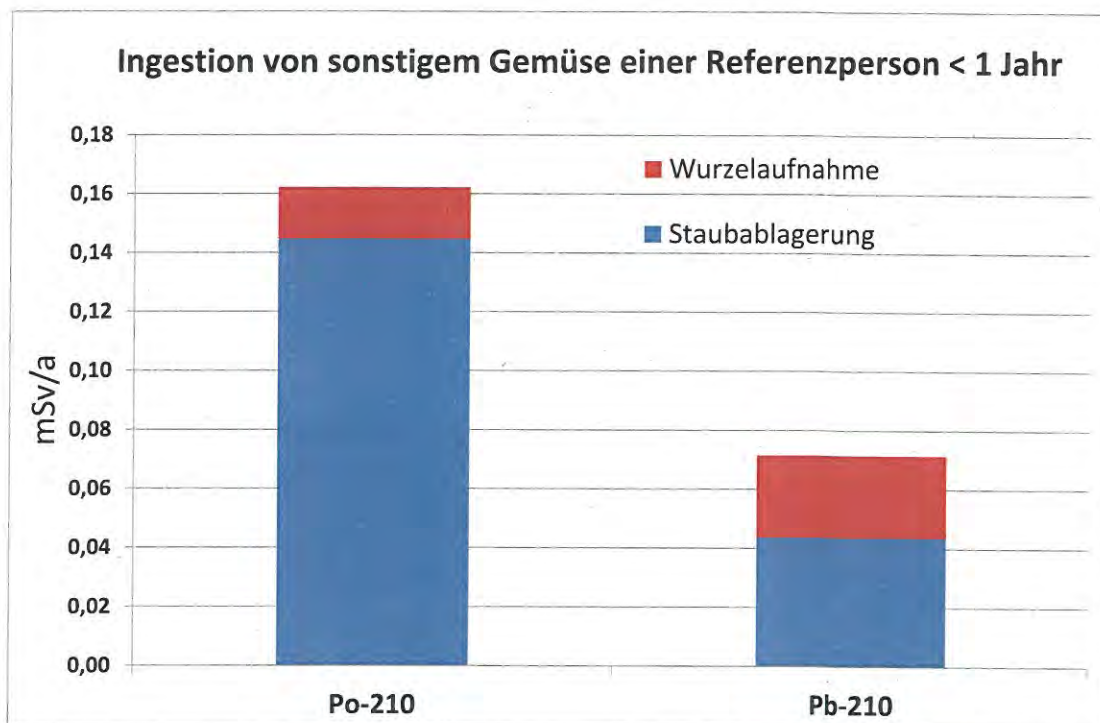


Abb. 7.1: Vergleichende Darstellung der Ingestion von sonstigem Gemüse

8 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Kurzstellungnahme werden einige Empfehlungen gegeben, die mögliche Optimierungen des Berichts des LANUV darstellen, ohne jedoch die Gesamtaussage des Berichts zu verändern. Diese umfassen folgende Aspekte:

- nachvollziehbare Ableitung von Aussagen,
- konservative Abschätzungen bei Unsicherheiten,
- Möglichkeiten erweiterter Erkenntnisse im Falle zukünftiger Messungen,
- Bewertungsmaßstäbe und Vergleichsgrößen.

Die Ergebnisse der hier vom Öko-Institut durchgeführten Dosisberechnung sind als konservativ und als vorsichtige Abschätzung anzusehen. Dennoch weisen auch diese Ergebnisse auf keine relevante radiologische Belastung hin. Da die vorliegenden Messergebnisse für diese Schlussfolgerung bereits ausreichend sind, sind weitere Messungen nicht zwingend erforderlich. Durch weitere Messungen könnten zwar Unsicherheiten reduziert werden, was aber aufgrund der konservativen Herangehensweise zu keinen höheren anzunehmenden Strahlenexpositionen führen könnte, sondern nur zu niedrigeren.

Literaturverzeichnis

- BglBb 2010 Bundesamt für Strahlenschutz: Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlagen - Bergbau), BfS-SW-07/10, Salzgitter, März 2010
- EC 2002 European Commission: Practical use of the concepts of clearance and exemption, Part II: Application of the concepts of exemption and clearance to natural radiation sources, Luxemburg 2002
- LANUV 2013 Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV): Radioaktivität aus den Tagebaugebieten in NRW, 23.05.2013

