



Platz des Bergmanns in Johanngeorgenstadt

Umweltbewertung des Ist-Zustandes

Bearbeiter: Steve Bahn

ASU

Chemnitz, 12. April 2024

Jens Regner

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Objektbeschreibung	3
3	Datengrundlage	4
3.1	Ortsdosisleistungsmessungen	4
3.2	Gammamessungen am Boden	5
3.3	In-situ-Betamessungen	7
3.4	Feststoffanalytik	8
3.5	Radonsituation	9
4	Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse	10
	Literaturverzeichnis	12

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Übersichtskarte
Anlage 2	Historisches Messtischblatt
Anlage 3	Luftbild
Anlage 4	Flurstücke

1 Einleitung

In den Jahren von 1946 bis 1958 fand im Bereich der Lagerstätte Johanngeorgenstadt durch die SAG/SDAG Wismut umfangreicher Bergbau zur Gewinnung von Uranerz statt. Unter anderem wurde die bereits aus dem Altbergbau stammende Halde des „Neu Leipziger Glück“-Schachtes (Wismut-Bezeichnung „Halde Schacht 42“) während dieser Zeit zur Ablagerung von Bergmassen des Uranerzbergbaus genutzt. Nordöstlich an die Halde Schacht 42 direkt angrenzend befindet sich der „Platz des Bergmanns“, der gegenwärtig als Parkplatz genutzt wird. Informationen zur radiologischen Situation der Bewertungsfläche „Platz des Bergmanns“ lagen bisher nicht vor. Die Bewertungsfläche „Platz des Bergmanns“ war zwar nicht Gegenstand des Altlastenkatasters [ALASKA] und des Standortsanierungskonzeptes Johanngeorgenstadt [WIS-2005], aufgrund der unmittelbaren Nähe zur Halde Schacht 42 kann jedoch eine Inanspruchnahme durch den Uranerzbergbau und eine radioaktive Kontamination u.a. durch Verwendung von Haldenmaterial zur Geländeregulierung bzw. als Unterbau im Rahmen der bereits zu DDR-Zeiten etablierten Flächennutzung als Parkplatz nicht ausgeschlossen werden.

Zur Klärung der Kontaminations- und Expositionssituation der Bewertungsfläche „Platz des Bergmanns“ wurde der Bereich Ingenieurwesen/Strahlenschutz der Wismut GmbH von der Stadtverwaltung Johanngeorgenstadt beauftragt, eine Umweltbewertung des Ist-Zustandes zu erstellen. Hierzu wurde auf der Bewertungsfläche ein umfangreiches Untersuchungsprogramm zur Charakterisierung der radiologischen Situation durchgeführt. Neben der Recherche und Aufbereitung bereits vorhandener Daten waren dessen Schwerpunkte die Kontaminationserkundung mittels flächendeckender Gammamessungen am Boden und in-situ-Betamessungen sowie die Entnahme von Feststoffproben mit anschließender Laboranalytik zur Charakterisierung der spezifischen Aktivitäten. Die Ergebnisse des Untersuchungsprogramms sind in dieser Umweltbewertung zum Ist-Zustand dargestellt. Auf der Grundlage dieser Daten war eine Bewertung der radiologischen Situation vorzunehmen, die zusätzliche Strahlenexposition der Bevölkerung zu ermitteln und Schlussfolgerungen hinsichtlich des Sanierungsbedarfes zu treffen. Die radiologische Bewertung des Ist-Zustandes stellt eine Grundlage für die Sanierungsplanung dar.

2 Objektbeschreibung

Die etwa 0,4 ha große Bewertungsfläche „Platz des Bergmanns“ befindet sich am Südrand der Mittelstadt von Johanngeorgenstadt im urbanen Gebiet in einer Höhenlage von 830 m üNN auf dem Bergsporn des Mittleren Fastenberges und beansprucht die Flurstücke 694 und 695/5 der Gemarkung Johanngeorgenstadt. Die Fläche wird gegenwärtig als Parkplatz genutzt und ist frei zugänglich. Die Flächen in der Umgebung des Untersuchungsobjektes werden als Wohngrundstücke, als Verkehrsinfrastruktur, zu touristischen sowie gewerblichen Zwecken genutzt.

Südwestlich der Bewertungsfläche befinden sich die bereits sanierte Bergehalde des ehemaligen Schachtes 42 sowie ein Teil eines aus DDR-Zeiten stammenden Garagenkomplexes. In einer Entfernung von etwa 50 m schließt sich südlich eine Kleingartenanlage an. Die nächsten Wohnbebauungen liegen in einer Entfernung von etwa 80 m nördlich der Bewertungsfläche. Die Bewertungsfläche selbst ist gegenwärtig mit einer sanierungsbedürftigen Asphalttragschicht vollflächig versiegelt, welche Schäden in Form von Verformungen, Rissen und Schlaglöchern aufweist. Im nördlichen Teil der Bewertungsfläche befinden sich ein Imbiss sowie eine feststehende Holzpyramide mit einer Aufstandsfläche von etwa 100 m². Aufgrund der zentralen Lage sowie der im unmittelbaren Umfeld gelegenen touristischen Angebote ist die Bewertungsfläche stark von Personen frequentiert.

Die Lage und Ausdehnung der Bewertungsfläche kann der topografischen Übersichtskarte in Anlage 1 sowie aus dem Luftbild in Anlage 3 entnommen werden.

3 Datengrundlage

3.1 Ortsdosisleistungsmessungen

Für das Untersuchungsobjekt liegen Messwerte der Ortsdosisleistung (ODL) aus den 1990iger Jahren vor, die im Rahmen des „Fachinformationssystems bergbaubedingte Umweltradioaktivität“ (FbU) erhoben wurden. Die örtliche Verteilung der ODL-Werte in 1 m Höhe innerhalb der Bewertungsgrenze kann der nachstehenden Abbildung entnommen werden.

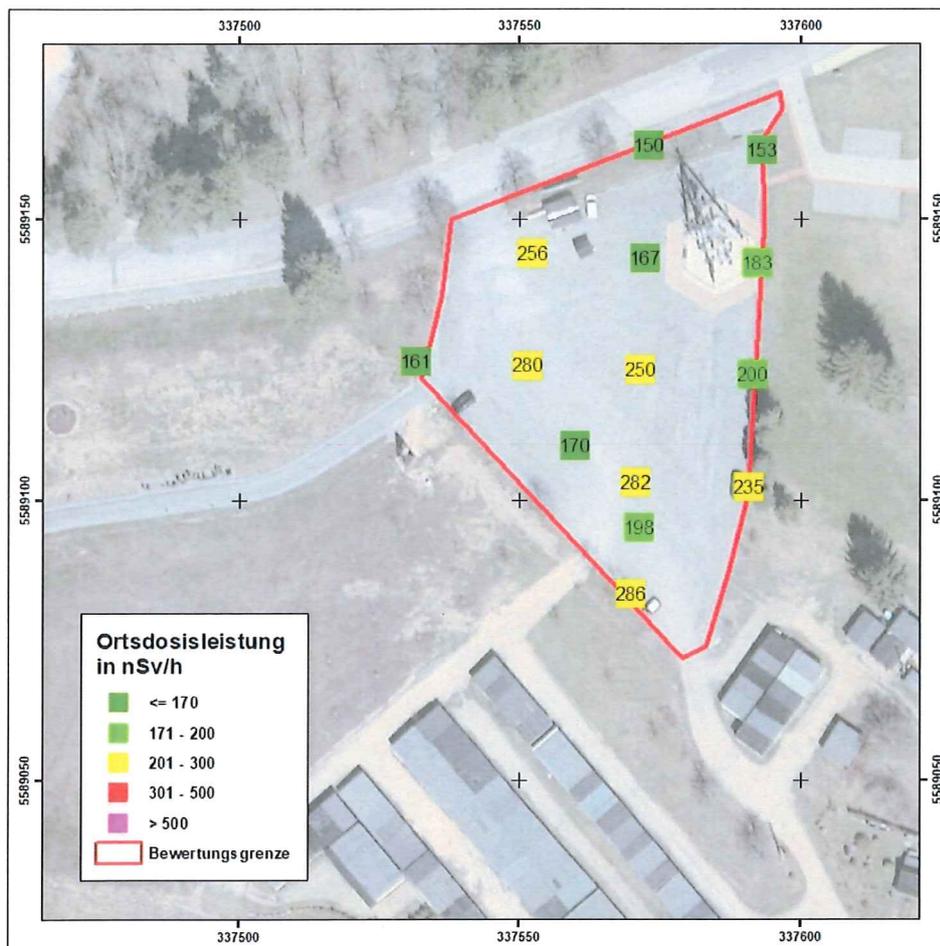


Abbildung 3-1 Übersicht der ODL-Messungen in 1 m Höhe über dem Boden (FbU-Daten)

Anhand der ODL-Karte ist erkennbar, dass im Fachinformationssystem bergbaubedingte Umweltradioaktivität innerhalb der Bewertungsfläche erhöhte Messwerte ausgewiesen wurden, die auf das Vorhandensein von oberflächennahen radioaktiven Kontaminationen schließen lassen. Der Mittelwert der ODL betrug etwa 210 nSv/h während der Maximalwert der ODL etwa bei 290 nSv/h lag.

Zur repräsentativen Abbildung der gegenwärtigen Kontaminationssituation sind diese Altdaten nicht geeignet, da Flächenbereiche zwischenzeitlich im Rahmen der Nutzung beansprucht und ggf. verändert wurden.

Insofern wurde im Rahmen der Umweltbewertung des Ist-Zustandes eine Neuaufnahme der radiologischen Situation der Oberfläche notwendig. Auf eine weitergehende Interpretation der FbU-Ergebnisse kann an dieser Stelle verzichtet und auf die Auswertung der Neuaufnahme im Folgenden verwiesen

werden. Die Darstellung der ODL-Ergebnisse des FbU erfolgte vorrangig aus dem Grund, dass sie Bestandteil des Datensatzes der radiologischen Erfassung der bergbaulichen Altlasten der Verdachtsfläche 16 „Johanngeorgenstadt“ sind.

3.2 Gammamessungen am Boden

Um insbesondere stark inhomogene und kleinteilige radioaktive Kontaminationen hinreichend charakterisieren zu können, sind Gammamessungen am Boden gut geeignet. Gammamessungen am Boden gewährleisten eine deutlich höhere örtliche Auflösung als ODL-Messungen in 1 m Höhe über dem Boden und sind dadurch wesentlich besser geeignet, die spezifische Ra-226-Aktivität der obersten Bodenschicht abzuschätzen. Auch eignen sie sich aufgrund der günstigeren Messgeometrie und der Reduzierung seitlicher Störeinflüsse wesentlich besser zur örtlichen Abgrenzung kontaminierter Bereiche als die ODL-Messungen. Aus den genannten Gründen erfolgte im Jahr 2024 durch die Abteilung Strahlenschutz/Umweltbewertung der Wismut GmbH eine Detailuntersuchung der Kontaminationssituation innerhalb der Bewertungsfläche mittels Gammamessungen am Boden. Eine Übersicht der Messwerte als Farbwertzuordnung ist in der nachfolgenden Abbildung 3-2 dargestellt, während die Abbildung 3-3 die Häufigkeitsverteilung dieser Messwerte enthält.

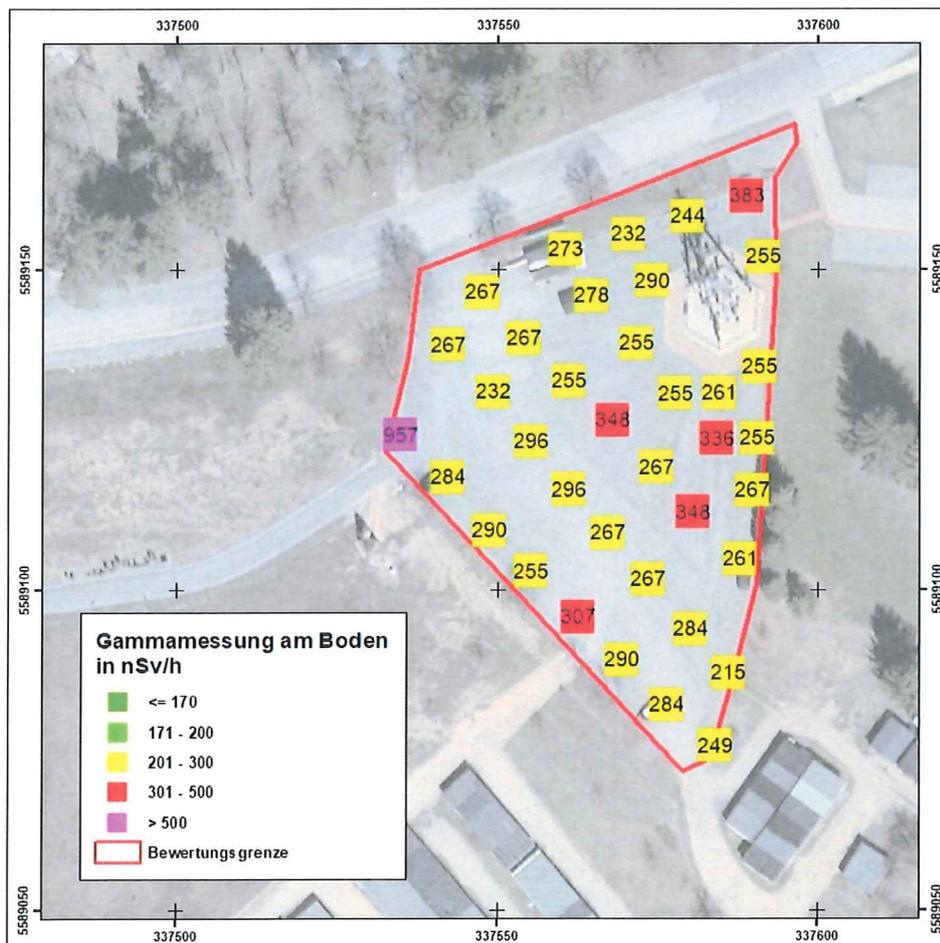


Abbildung 3-2 Übersicht der Ergebnisse der Gammamessungen am Boden

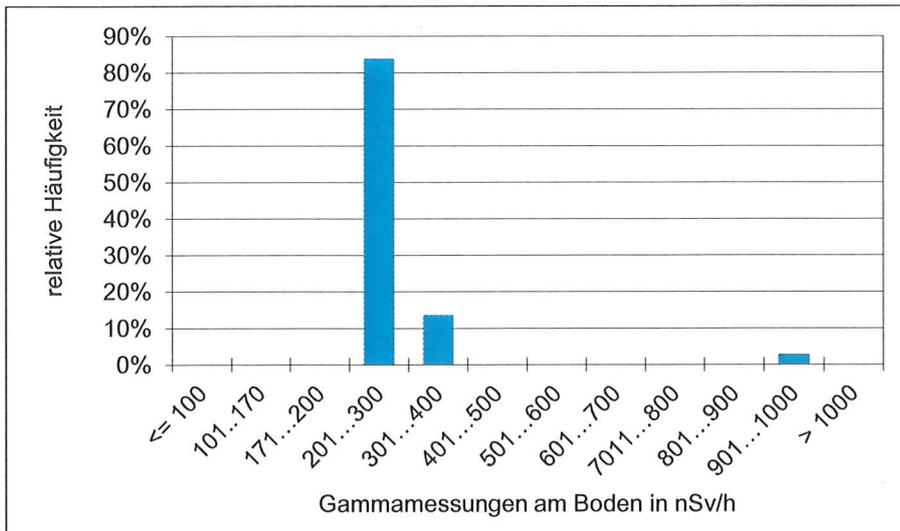


Abbildung 3-3 Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse der Gammamessungen am Boden

Für die untersuchte Bewertungsfläche ergaben sich die in nachfolgender Tabelle 3-1 zusammengefassten statistischen Parameter der Gammamessungen am Boden.

Tabelle 3-1 Statistische Parameter der Gammamessungen am Boden

Parameter	Fläche "Platz des Bergmanns"
Anzahl Messpunkte	37
Mittelwert	294 nSv/h
Minimum	215 nSv/h
25. Quantil	255 nSv/h
50. Quantil	267 nSv/h
75. Quantil	290 nSv/h
95. Quantil	355 nSv/h
Maximum	957 nSv/h
1- σ -Streuung	115 nSv/h

Der Wertebereich der 37 Messwerte der Gammamessung am Boden lag zwischen 215 nSv/h und 957 nSv/h bei einem Mittelwert von etwa 290 nSv/h. Werte oberhalb von 300 nSv/h wurden vorwiegend im zentralen Teil der Bewertungsfläche festgestellt. Der höchste Gammamesswert von etwa 960 nSv/h wurde auf dem äußeren westlichen Teil des Parkplatzes registriert.

Insgesamt bestätigt sich, dass nahezu flächendeckend oberflächennahe, radioaktive Kontaminationen vorhanden sind, wobei deutlich sichtbar ist, dass der zentrale und westliche Teil der Bewertungsfläche die höchsten Kontaminationen aufweisen. Grundsätzlich können Bereiche um etwa 300 nSv/h durch schnittlichem Haldenmaterial zugeordnet werden, während Werte > 500 nSv/h ein deutlicher Hinweis auf das Vorhandensein von Erzresten sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Bewertungsfläche flächenhaft mit einer etwa 0,15 m starken Asphaltdecke versiegelt ist, die aufgrund ihrer abschirmenden Wirkung die Messergebnisse beeinflusst, so dass z.T. deutlich höhere spezifische Ra-226-Aktivitäten zu erwarten sind, als die theoretische Umrechnung lt. [BglBb-2010] ergibt.

Erfahrungswerte mit anderen Sanierungsobjekten zeigten, dass bei Anwendung der Umrechnung von ODL- bzw. Gammamesswerten in eine spezifische Aktivität nach [BglBb-2010], die tatsächliche spezifische Ra-226-Aktivität der Bodenproben teilweise um mehr als den Faktor 3 unterschätzt wird. Damit

wird unterstrichen, dass die Gammamessungen nur einen Hinweis auf die tatsächliche Kontamination liefern und die Entnahme von Bodenproben und eine anschließende Laboranalyse unerlässlich sind. Diese Diskrepanz wird noch verschärft, wenn anstatt der Gammamessungen am Boden die Ortsdosisleistung in 1 m Höhe als Grundlage einer Kontaminationseinschätzung dienen soll.

3.3 In-situ-Betamessungen

Anhand der durchgeführten Gammamessungen kann keine Unterscheidung getroffen werden, ob der Unterbau oder auch die Asphaltdecke durch Verwendung von Haldenmaterialien als Zuschlagstoff radioaktiv kontaminiert ist. Daher erfolgten auf der Asphaltdecke exemplarisch in-situ-Betamessungen mittels Oberflächenkontaminationsmonitor. Diese Messungen ermöglichen, die Beta-Emissionen einer maximal etwa 1 cm dicken Schicht zu messen und dadurch den störenden Einfluss von durchdringenden Gamma-Emissionen von gegebenenfalls unter der Oberfläche liegenden Kontaminationen auszublenden. Damit kann der Kontaminationszustand der oberflächennahen Schicht charakterisiert werden.

Bei bekanntem Nuklidvektor kann aus der Nettozählrate die spezifische Aktivität der Nuklide der Uran-Radium-Reihe abgeleitet werden. Im vorliegenden Fall wurde für eine Messung mit Screening-Charakter der Kalibrierfaktor für Uranerz im radioaktiven Gleichgewicht verwendet. In der nachfolgenden Abbildung 3-4 sind die mittels Betamessung auf der Asphaltfläche ermittelten spezifischen Aktivitäten eines Einzelnuklids der Uran-Radium-Reihe als Farbwertzuordnung dargestellt.

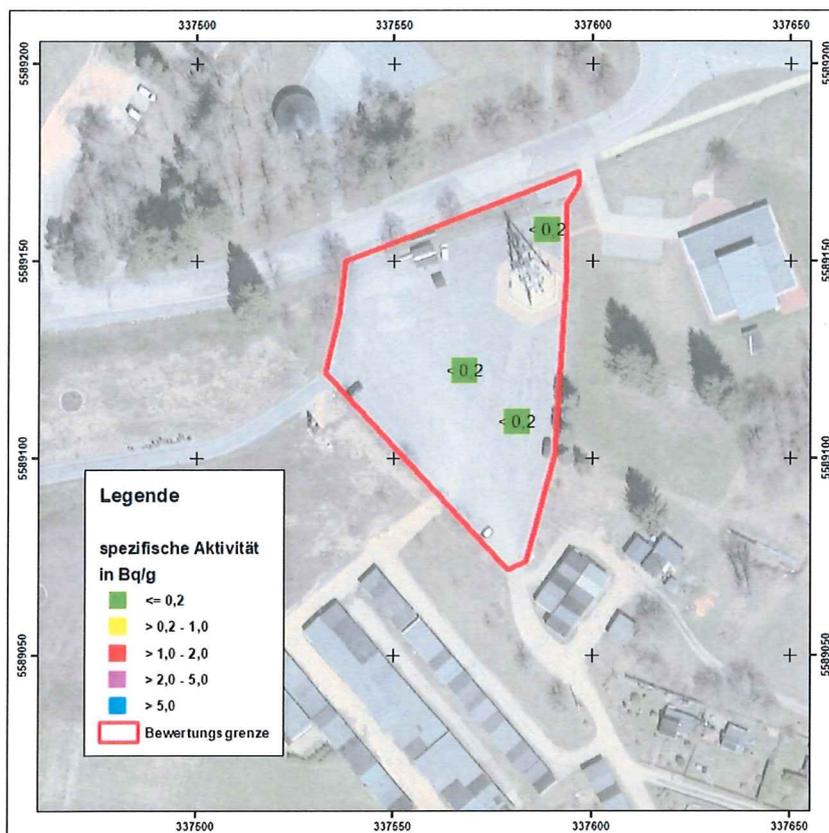


Abbildung 3-4 Aus den Beta-Messungen abgeleitete spezifische Aktivität eines Einzelnuklids der U-Ra-Reihe auf der Asphaltfläche

Die in-situ-Beta-Messungen zeigen, dass an allen Messpunkten die spezifische Aktivität eines Einzelnuklids der Uran-Radium-Zerfallsreihe im Bereich $\leq 0,2$ Bq/g lag.

3.4 Feststoffanalytik

Im Rahmen der in den 1990iger Jahren durchgeführten Untersuchungen zum „Fachinformationssystem bergbaubedingte Umweltradioaktivität“ (FbU) erfolgte innerhalb der Bewertungsfläche „Platz des Bergmanns“ keine Entnahme von Feststoffproben.

Zur radiologischen Charakterisierung der oberflächennahen Schichten wurde daher im Rahmen der Umweltbewertung des Ist-Zustandes zunächst in einem Schlagloch eine Probe des Asphaltmaterials entnommen. Weiterhin wurde an einer Stelle des Parkplatzes, die durch erhöhte Gammamesswerte am Boden auffiel, die Asphaltdecke durchörtert und eine Mischprobe aus einem Teufenbereich von etwa 0,15 m bis 0,45 m unter Geländeoberkante gewonnen. Visuell kann das unterhalb der Asphaltdecke angetroffene Material als Haldenmaterial angesprochen werden. Die Aufschüttung wurde dabei nicht bis zum geogenen Untergrund durchörtert.

Die Ergebnisse der anschließenden gammaspektrometrischen Analyse der Proben können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 3-2 Analyseergebnisse der Feststoffbeprobung

Probe	spezifische Aktivität in Bq/g						
	U-238	Ra-226	Pb-210	Th-230	Pa-231	Tl-208	K-40
Asphalt	0,10	0,10	0,19	0,06	< 0,01	0,03	1,3
Haldenmaterial	0,74	0,80	0,55	0,81	0,02	0,06	1,1

Die Ansatzpunkte der zwei Aufschlüsse sind in der nachfolgenden Abbildung 3-5 ersichtlich.

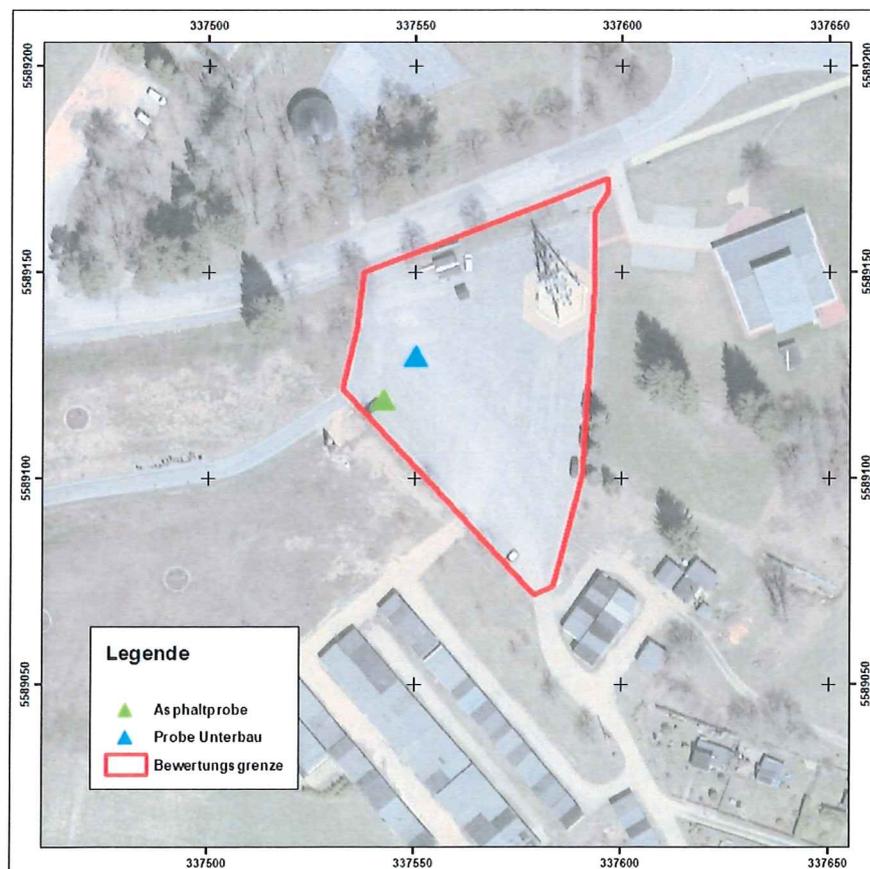


Abbildung 3-5 Ansatzpunkte der Aufschlüsse

Bei dem unterhalb der Asphaltdecke entnommenen Material ergab die gammaspektrometrische Analyse spezifische Aktivitäten von 0,74 Bq/g für U-238, 0,80 Bq/g für Ra-226 und 0,55 Bq/g für Pb-210. Bei der Asphaltprobe lagen hingegen mit jeweils 0,10 Bq/g für die Nuklide U-238 und Ra-226 spezifische Aktivitäten deutlich unterhalb des Prüfwertes von 0,2 Bq/g entsprechend § 161 StrlSchV [StrSchV-2018] vor.

3.5 Radonsituation

Die Radonsituation im Bereich der Bewertungsfläche wird im Rahmen der Nachsorgemessungen im Rahmen der erfolgten Sanierung der Halde Schacht 42 regelmäßig erfasst. Für die Charakterisierung der Radonkonzentration im aktuellen Zustand werden die Messergebnisse der unmittelbar an der Bewertungsfläche gelegenen Messstellen 401.05 und 804.56 herangezogen. Die Beschreibung sowie die Lage der einzelnen Messstellen in Bezug auf die Bewertungsfläche können der nachfolgenden Tabelle 3-3 bzw. der nachfolgenden **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** entnommen werden.

Tabelle 3-3 Radonkonzentrationsmessstellen in der Umgebung des Bewertungsobjekts

Messpunkt	Lage in Bezug zum Bewertungsobjekt
401.05	etwa 90 m südöstlich, an der Kleingartenanlage "Sonnenblick e.V."
804.56	etwa 80 m westlich, an der Schwefelwerkstraße

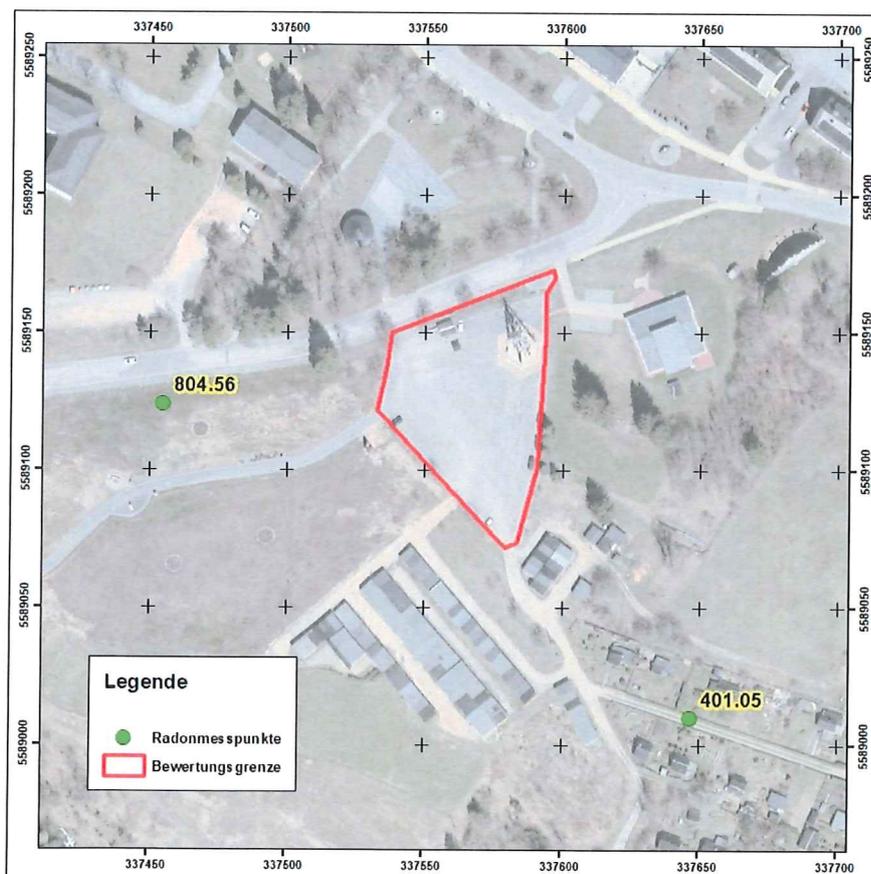


Abbildung 3-6 Messstellen der Radonkonzentration in 1,5 m Höhe im Umfeld des Bewertungsobjektes

Bei den Messungen der Radonkonzentration handelt es sich um zeitlich integrierende Messungen unter Nutzung von Festkörperkernspurdetektoren. Die Detektoren werden in einer Höhe von 1,5 m über

dem Boden angeordnet. Die Detektoren werden grundsätzlich 6 Monate exponiert, wobei die Expositionszeiträume so gewählt sind, dass jeweils Sommer- und Winterhalbjahre abgebildet werden.

In der nachfolgenden Tabelle 3-4 sind die seit dem Ende der Sanierung der direkt angrenzenden Halde Schacht 42 gewonnenen Messwerte der Radonkonzentration sowie der Jahresmittelwert für das Jahr 2023 an den beschriebenen Messstellen zusammengefasst.

Tabelle 3-4 Ergebnisse der Radonkonzentrationsmessungen in 1,5 m Höhe über dem Boden

Expositionszeitraum			Radonkonzentration in Bq/m ³	
von	bis	Periode	401.05	804.56
27.04.2021	13.10.2021	Sommer 2021	16	25
13.10.2021	19.04.2022	Winter 2021/22	15	19
19.04.2022	19.10.2022	Sommer 2022	20	23
19.10.2022	20.04.2023	Winter 2022/23	11	14
20.04.2023	24.10.2023	Sommer 2023	20	10
Jahresmittel 2023			16	12

Die Jahresmittelwerte der Radonkonzentration lagen im Jahr 2023 im Bereich zwischen 12 Bq/m³ und 16 Bq/m³ und somit auf einem niedrigen Niveau. Unter Berücksichtigung des natürlichen Hintergrundwertes von 10 Bq/m³ lt. [BglBb-2010], der für den Bereich der Mittelstadt von Johanngeorgenstadt repräsentativ ist, beträgt der maximale Einfluss der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus 6 Bq/m³. Damit ist der Einfluss der Hinterlassenschaften des Uranbergbaus in der unmittelbaren Umgebung des Bewertungsobjektes auf die Radonkonzentration als gering einzuschätzen ist.

4 Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Auf der Bewertungsfläche „Platz des Bergmanns“ wurde ein umfangreiches Untersuchungsprogramm zur Charakterisierung der radiologischen Situation durchgeführt. Die Schwerpunkte bzgl. der Radiologie waren die Auswertung von Altdaten, die Kontaminationserkundung mittels flächendeckender Gammamessungen am Boden, die in-situ-Betamessung, die Entnahme von Feststoffproben mit anschließender Analytik zur Charakterisierung der spezifischen Aktivitäten der sich auf dem Bewertungsobjekt befindlichen anthropogenen Aufschüttungen sowie die Aufbereitung bereits vorhandener Daten zur Charakterisierung der gegenwärtigen Radonimmissionssituation.

Die auf der Bewertungsfläche in einem dichten flächendeckenden Messraster vorgenommenen 37 Gammamessungen am Boden zeigten Messergebnisse, die auf das Auftreten spezifischer Ra-226-Aktivitäten > 0,2 Bq/g hindeuten. Das bei diesen Messungen angetroffene Maximum der Gammadosisleistung von etwa 960 nSv/h weist eindeutig auf das Vorkommen von Erzresten an der Oberfläche hin. Wird dieser Maximalwert in eine spezifische Ra-226-Aktivität umgerechnet, ergibt sich ein Wert von etwa 1,7 Bq/g. Bei der Interpretation der Gammamesswerte am Boden ist jedoch zu beachten, dass die flächenhaft vorhandene und etwa 0,15 m starke Asphaltdecke eine abschirmende Wirkung hat. Die Gammamesswerte am Boden zeigen weiterhin, dass vollflächig oberflächennahe radioaktive Kontaminationen innerhalb der Bewertungsfläche vorliegen. Es ist wahrscheinlich, dass aufgrund der direkten Nachbarschaft zur Halde Schacht 42 die angetroffenen Kontaminationen im Zusammenhang mit der Verwendung von Bergmassen der Halde Schacht 42 zur Geländeregulierung bzw. als Unterbau im Rahmen der bereits zu DDR-Zeiten etablierten Flächennutzung als Parkplatz im Zusammenhang stehen.

Mittels Aufschluss wurde der Unterbau, der bereits visuell als Haldenmaterial angesprochen werden kann, beprobt und gammaspektrometrisch analysiert. Die gammaspektrometrische Analyse der entnommenen Mschprobe ergab spezifische Aktivitäten von 0,74 Bq/g für U-238 und 0,80 Bq/g für Ra-226. Zusätzlich wurde auch das Asphaltmaterial beprobt und gammaspektrometrisch analysiert. Die Analyseergebnisse zeigen, dass die Asphaltdecke radiologisch unbelastet ist. Diese Aussage wird von den Ergebnissen der exemplarisch auf der Asphaltoberfläche durchgeführten in-situ-Betamessungen gestützt. Sollte zukünftig ein Abtrag der Asphaltdecke erfolgen ist zu beachten, dass die Asphaltdecke teilweise durch Haldenmaterialanhaftungen kontaminiert sein kann und daher eine erneute radiologische Charakterisierung des aufgenommenen Asphaltmaterials erfolgen muss.

Die Bewertungsfläche erstreckt sich aktuell auf einem Höhengiveau von etwa 830 m üNN. Ein Vergleich mit dem Messtischblatt vor 1945 (Anlage 2) ergibt, dass sich das damalige Ursprungsgelände auf etwa dem gleichen Höhengiveau befand und somit nur von einer geringen Mächtigkeit der vorhandenen anthropogenen Aufschüttung auszugehen ist. In Anlehnung an bautechnologisch typische Unterbauschichtdicken wird daher eine Aufschüttmächtigkeit an radioaktiv kontaminiertem Haldenmaterial von etwa 0,5 m bis 1,0 m abgeschätzt, was einem Volumen von maximal etwa 4 000 m³ entspricht.

Die Ergebnisse der im unmittelbaren Umfeld zur Bewertungsfläche befindlichen Radonkonzentrationsmessstellen zeigten einen vernachlässigbaren geringen Beitrag der Hinterlassenschaften des Uranbergbaus zur vorherrschenden Radonkonzentration, so dass dieser Expositionspfad im derzeitigen Zustand keine Rolle spielt. Er wäre aber relevant, wenn auf der Fläche Gebäude mit Aufenthaltsräumen errichtet würden. Für diesen Fall würden die kontaminierten Aufschüttungen zu erhöhten Radonkonzentrationen in diesen Gebäuden führen.

Die durchgeführten Untersuchungen der Kontaminationssituation zeigen, dass auf der gesamten Bewertungsfläche radioaktive Kontaminationen in den anthropogenen Aufschüttungen vorhanden sind, die den Prüfwert von 0,2 Bq/g entsprechend § 161 StrlSchV [StrlSchV-2018] überschreiten.

Aufgrund der gegenwärtigen Nutzung der Bewertungsfläche als Parkplatz und der sich daraus zu berücksichtigenden Expositionssituationen kann davon ausgegangen werden, dass der Richtwert von 1 mSv/a als Zusatzbeitrag der effektiven Dosis der Bevölkerung deutlich unterschritten wird. Im gegenwärtigen Zustand der Bewertungsfläche und dem aktuellen Nutzungsszenario besteht daher aus radiologischer Sicht kein Handlungsbedarf. Sollten höherwertige Nutzungen auf der Fläche bzw. auf Teilen der Fläche zukünftig beabsichtigt sein, ist eine entsprechende radiologische Bewertung der geänderten Situation zwingend erforderlich, da dadurch nicht tolerierbare Strahlenexpositionen für die Bevölkerung entstehen können.

Unter Beachtung des Nachhaltigkeitsaspektes und im Hinblick einer eventuell höherwertigen Flächennutzung wird jedoch empfohlen, die auf der Bewertungsfläche vorhandene Kontamination möglichst vollständig zu beseitigen. Der bei einem vollständigen Abtrag freigelegte geogene Untergrund ist dabei durch geeignete sanierungsbegleitende radiologische Messungen auf eventuelle radioaktive Kontaminationen zu untersuchen. Festgestellte Kontaminationen des geogenen Untergrunds sind im Rahmen der Sanierung zu entfernen.

Literaturverzeichnis

- [ALASKA] „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten - Abschlussbericht zur Verdachtsfläche Johanngeorgenstadt (VF 16)". Autorenkollektiv, BfS Bundesamt für Strahlenschutz, FB Angewandter Strahlenschutz, Berlin, Juni 2001.
- [BglBb-2010] Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge bergbaubedingter Umweltradioaktivität, Berechnungsgrundlagen-Bergbau, BfS-Berichte BfS-SW-07/10, Salzgitter, März 2010.
- [StrlSchV 2018] Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzrechts, Artikel 1 Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrSchV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 41, ausgegeben zu Bonn am 05. Dezember 2018.
- [WIS-2005] Standortsanierungskonzept Johanngeorgenstadt, WISMUT GmbH, Chemnitz, März/2005.
- [WIS-Z 179/3] Sanierung der Halde Schacht 42 in Johanngeorgenstadt - Umweltbewertung des Ist-Zustandes, Wismut GmbH, BIS/AMS, Chemnitz, November 2017.