

8 Belastung mit Radionukliden

8.1 Definition NORM

Die mit Radionukliden belasteten Bereiche der künstlichen Ablagerungen am Seegrund vor dem CU-Areal stammen aus Abfällen der Düngerproduktion, bei der bereits das dafür verwendete Rohmaterial radioaktiv war.

In Abs. 2 Bst. h der Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501) vom 26. April 2017 werden natürlich vorkommende radioaktive Materialien (NORM) folgendermassen definiert: „Materialien mit natürlich vorkommenden Radionukliden, die keine künstlichen radioaktiven Stoffe enthalten; Materialien, in denen die Aktivitätskonzentrationen der natürlich vorkommenden Radionuklide durch bestimmte Prozesse unbeabsichtigt verändert wurden, sind ebenfalls NORM; werden natürlich vorkommende Radionuklide gezielt angereichert, insbesondere zur Nutzung ihrer Radioaktivität, so gelten sie nicht mehr als NORM“.

Die mit Radionukliden belasteten Bereiche der künstlichen Ablagerungen am Seegrund vor dem CU-Areal erfüllen die Kriterien für NORM gemäss Abs. 2 Bst. h StSV und können demnach als NORM bezeichnet werden.

8.2 Beurteilungswerte

Die Beurteilung der Belastung der künstlichen Ablagerung erfolgt über ökotoxikologisch hergeleitete PEC-Werte von bestimmten Schadstoffen. Bei einer 10-fachen Überschreitung liegt ein grosses Risiko einer Beeinträchtigung der Gewässerökologie vor. Je nach Exposition und Freisetzungspotential besteht bei Schadstoffbelastungen über dem 10-fachen PEC-Wert ein Sanierungsbedarf (vgl. Kapitel 4.2).

Für Uran und Radium sind keine PEC-Werte definiert. In den nachfolgenden Kapiteln wird deshalb eine Herleitung der PEC-Werte für Uran und Radium vorgenommen.

8.2.1 Ökotoxikologische Beurteilungswerte für Uran

Ökotoxikologische TEC- und PEC-Werte sind für Uran nicht definiert. Gemäss den Recherchen und der Auskunft des Ökotoxizentrums der Eawag wurden aber für Uran mehrere Studien über ökotoxikologischen Versuchen an im Sediment lebenden Organismen durchgeführt. Diese ergaben für Uran im Verhältnis zu Blei und anderen Schwermetallen eine geringere Ökotoxizität. Das Ökotoxizentrum empfiehlt als vergleichbaren Wert für den PEC-Wert den RSV (refinement screening value) von Uran von 1'000 mg/kg zu verwenden. Der 10-fache RSV-Grenzwert würde somit 10'000 mg/kg Uran betragen, welcher deutlich höher ist als der oben erwähnte Feststoffaktivitätshöchstwert mit einer Uran-Konzentration von 1'200 mg/kg.

8.1.18.2.2 Beurteilungswerte für Radionuklide des Bundesamts für Gesundheit

Gemäss der Wegleitung «Entsorgung von Abfällen, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe (NORM) enthalten» V1.2 vom 27.06.2024 des BAG können Abfälle, die ~~natürlich-~~

~~verkommende radioaktive Stoffe (NORM)~~ enthalten, mit Zustimmung des BAG und des Kantons auf geeigneten Deponien abgelagert werden (Typ C, D oder E Kompartimente). Dabei muss die effektive Dosis für die Bevölkerung von 0.3 mSv pro Kalenderjahr unter Berücksichtigung aller möglichen Expositionspfade eingehalten werden. Zu diesem Zweck werden für die einzelnen Nuklide Feststoffaktivitätshöchstwerte festgelegt. Gemäss dem Anhang 5.4. der oben genannten Wegleitung erfolgt die Herleitung dieser Feststoffaktivitätshöchstwerte für die Deponierung von NORM-Abfällen in Anlehnung an die Vorgaben für Schwermetalle in der VVEA. Dazu wird die chemische Toxizität von Uran mit jener von Blei verglichen. Der Grenzwert für Blei zur Deponierung auf einer Deponie Typ D und E gemäss VVEA beträgt 2'000 mg/kg. Daraus wird ein Grenzwert für Uran von 1'200 mg/kg abgeleitet, was wiederum einer Feststoffaktivität von rund 15'000 Bq/kg entspricht. Erst ab Uran-Konzentrationen in abgelagerten Feststoffen über 1'200 mg/kg (respektive einer Feststoffaktivität über 15'000 Bq/kg) muss überprüft werden, ob Massnahmen ergriffen werden müssen.

Die Radiotoxizität anderer Radionuklide wie Radium-226 wird mit der Radiotoxizität von Uran verglichen. Gemäss der oben genannten Wegleitung ist der entsprechende Feststoffaktivitätshöchstwert für Ra-226 10'000 Bq/kg.

Mit den ~~nachfolgend aufgelisteten so hergeleiteten~~ Feststoffaktivitätshöchstwerten wird die effektive Dosis für die Bevölkerung von 0.3 mSv pro Kalenderjahr unter Berücksichtigung aller möglichen Expositionspfade eingehalten, so dass NORM-Abfälle, die diese Feststoffaktivitätshöchstwerte einhalten, ohne weitere Abklärungen bezüglich Mobilität der Radionuklide in den entsprechenden Kompartimenten deponiert werden dürfen.

Nuklid	Feststoffaktivitätshöchstwert
RA-226, Ra-228, Th-232	10'000 Bq/kg
U-238	15'000 Bq/kg (entspricht 1'200 mg/kg)
Po-210	20'000 Bq/kg

~~Gemäss dem Anhang 5.4. der oben genannten Wegleitung erfolgt die Herleitung dieser Feststoffaktivitätshöchstwerte für die Deponierung von NORM-Abfällen in Anlehnung an die Vorgaben für Schwermetalle in der VVEA. Dazu wird die chemische Toxizität von Uran mit jener von Blei verglichen. Der Grenzwert für Blei zur Deponierung auf einer Deponie Typ D und E gemäss VVEA beträgt 2'000 mg/kg. Daraus wird ein Grenzwert für Uran von 1'200 mg/kg abgeleitet, was wiederum einer Feststoffaktivität von rund 15'000 Bq/kg entspricht. Erst ab Uran-Konzentrationen in abgelagerten Feststoffen über 1'200 mg/kg muss überprüft werden, ob Massnahmen ergriffen werden müssen.~~

~~Die Radiotoxizität anderer Radionuklide wie Radium-226 wird mit der Radiotoxizität von Uran verglichen. Gemäss der oben genannten Wegleitung ist der entsprechende Feststoffaktivitätshöchstwert für Ra-226 10'000 Bq/kg.~~

8.2.3 Beurteilungswerte gemäss Strahlenschutzverordnung (StSV, SR 814.501)

Gemäss Abs. 2 Bst. k StSV kann NORM, das die NORM Befreiungsgrenze (LLN) unterschreitet, konventionell entsorgt oder anderweitig uneingeschränkt an die Umwelt abgegeben werden. Die NORM-Befreiungsgrenze (LLN) für natürliche Radionuklide der U-

238-Reihe wird in Anhang 2 StSV auf 1'000 Bq/kg festgelegt. Bei einer Umrechnung gemäss 8.2.1 entspricht dies einer Uran-Konzentration von 80 mg/kg.

8.1.28.1.1 Ökotoxikologische Beurteilungswerte für Uran

~~Ökotoxikologische TEC und PEC Werte sind für Uran nicht definiert. Gemäss den Recherchen und der Auskunft des Ökotoxizentrums der Eawag wurden aber für Uran mehrere Studien über ökotoxikologischen Versuchen an im Sediment lebenden Organismen durchgeführt. Diese ergaben für Uran im Verhältnis zu Blei und anderen Schwermetallen eine geringere Ökotoxizität. Das Ökotoxizentrum empfiehlt als vergleichbaren Wert für den PEC Wert den RSV (refinement screening value) von Uran von 1'000 mg/kg zu verwenden. Der 10-fache RSV Grenzwert würde somit 10'000 mg/kg Uran betragen, welcher deutlich höher ist als der oben erwähnte Feststoffaktivitätshöchstwert mit einer Uran-Konzentration von 1'200 mg/kg.~~

8.1.38.2.4 Beurteilungswerte für Uran und Radium in der künstlichen Ablagerung

Basierend auf den Ausführungen in den Kapiteln 8.21.1, 8.2.2 und 8.12.23 wenden wir als oberen Beurteilungswert für **Uran** den vom BAG festgesetzten Feststoffaktivitätshöchstwert von 15'000 Bq/kg an, der einer Uran-Konzentration von 1'200 mg/kg entspricht (roter Farbcode z. B. im Anhang A3; analog 10-facher PEC-Wert). Als unterer Beurteilungswert für Uran dient die NORM-Befreiungsgrenze⁵ von 1'000 Bq/kg, d. h. 80 mg/kg Uran (oranger Farbcode; analog einfacher PEC-Wert). Gemäss Rückmeldung des BAG ist dieses Vorgehen zur Festlegung des oberen Beurteilungswerts zweckmässig, auch wenn es zu deutlich strengeren Beurteilungswerten führt als aus ökotoxikologischer Sicht notwendig. Aus ökotoxikologischer Sicht sind diese Beurteilungswerte zu streng (vgl. Kapitel 8.2.1). ~~Gemäss Rückmeldung des BAG ist dieses Vorgehen jedoch zweckmässig.~~

Das **Radionuklid Ra-226** der natürlichen Zerfallsreihe von U-238 hat im Vergleich zu Uran eine deutlich höhere spezifische Aktivität (etwa eine Million Mal aktiver). Die sehr geringen Konzentrationen können über die Aktivität mittels Gamma-Spektrometrie ermittelt werden, die Beurteilung erfolgt aber sinnvollerweise direkt mit der Aktivität selbst, so dass Grenzwerte für Konzentrationen nicht zweckmässig sind. Der Feststoffaktivitätshöchstwert für Ra- 226 ist 10'000 Bq/kg und kann analog zu Uran als oberer Beurteilungswert verwendet werden. Als unterer Beurteilungswert könnte folglich 1'000 Bq/kg angesetzt werden, weil für Ra- 226 als Tochternuklid der Uran-238 Zerfallsreihe gemäss BAG-Wegleitung ebenfalls die NORM-Befreiungsgrenze⁵ von 1'000 Bq/kg gilt.

Nuklid	Unterer Beurteilungswert			Oberer Beurteilungswert		
	NORM-Befreiungsgrenze	Konzentration	Analog PEC	Feststoffaktivitätshöchstwert	Konzentration	Analog PEC
Uran	1'000 Bq/kg	80 mg/kg	1	15'000 Bq/kg	1'200 mg/kg	10
Radium	1'000 Bq/kg		1	10'000 Bq/kg		10

⁵ ~~NORM-Befreiungsgrenzen nach Anhang 2 Strahlenschutzverordnung: Die NORM-Befreiungsgrenze ist der Wert, unter welchem ein Material, das natürliche Radionuklide enthält, konventionell entsorgt oder anderweitig uneingeschränkt an die Umwelt abgegeben werden kann (vgl. Wegleitung «Entsorgung von Abfällen, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe (NORM) enthalten» V1.2 vom 27.06.2024 des BAG)~~

8.28.3 Resultate

8.2.18.3.1 Uran

Bei allen analysierten Proben wurden die Urankonzentrationen quantitativ an getrockneten Proben bestimmt und können somit mit den oben vorgeschlagenen Beurteilungswerten verglichen werden. Die Analysenergebnisse finden sich im Anhang A3.

In 7 der 23 analysierten Proben wurde der untere Beurteilungswert gemäss Kapitel 8.12.3.4 von 80 mg/kg überschritten (Proben: B2/25 1.7-1.9 m, B3/25 1.2-1.6 m, B4/25 Sedimentkern 0.42-0.56 m, B26/25 Sedimentkern 0.25-0.35 m, B26/25 Sedimentkern 0.36-0.40 m, CU25-02 0.26-0.37 m, CU25-08 0.92-1.03 m). Sämtliche dieser Proben bestehen aus beigem, schlammartigem Material mit dünnen Verkrustungen und stammen entweder aus dem oberen Bereich des beigen Materials der Seeuferschüttung oder aus dem obersten Meter der westlichen/zentralen künstlichen Ablagerung. Die höchste Urankonzentration von 576 mg/kg wurde in einer 0.14 m mächtigen Schicht im Sedimentkern der Bohrung B4/25 gemessen (B4/25 Sedimentkern 0.42-0.56 m) und liegt im Bereich des bisherigen gemessenen Höchstwerts von 519 mg/kg in einem Sedimentkern aus dem Jahr 2014 (CU14-27 0.16-0.35 m). Der zweithöchste Messwert beträgt 271 mg/kg in der Bohrung B2/25 im Tiefenintervall von 1.7-1.9 m ab OK Seegrund mit einer grünlich-beigen Schicht innerhalb der beigen künstlichen Ablagerung.

Der obere Grenzwert gemäss Kapitel 8.1.38.2.4 von 1'200 mg/kg Uran wird weder in den neuen Proben noch in sämtlichen früheren Proben erreicht. In den analysierten Proben aus den Bohrungen von 2021 wurde die Uran-Konzentration nicht bestimmt.

Die Uran-Konzentrationen, die sich anhand der Aktivität aus der Gammaskpektrometrie des PSI berechnen lassen, bestätigen die gemessenen Konzentrationen des AWEL Gewässerschutzlabors und der Bachema AG (Abweichungen von wenigen mg/kg, Spannweite von -16% bis +29 %, vgl. Anhänge A3 und A5). Für die Probe B4/25 0.42-0.56 m mit einer Urankonzentration von 576 mg/kg gemäss AWEL Gewässerschutzlabor errechnet sich gemäss Analysen PSI eine Konzentration von Uran-238 von 743 mg/kg. Auch dieser Wert hält den oberen Beurteilungswert von 1'200 mg/kg Uran ein.

8.2.28.3.2 Radium

Für das Radionuklid Ra-226 der natürlichen Zerfallsreihe von U-238 wurde wegen den sehr geringen Konzentrationen keine quantitative Bestimmung für jede analysierte Probe durchgeführt. Die radioaktiven Aktivitäten wurden aber an einer Auswahl von 23 Proben vom PSI bestimmt (vgl. Anhang A5). Die höchste gemessenen Aktivität für Ra-226 liegt bei 1.3 Bq/g bzw. 1'300 Bq/kg (B4/25 0.42-0.56 m, gleiche Probe wie der höchste Urangehalt) und ist somit deutlich unter dem Feststoffaktivitätshöchstwert von 10'000 Bq/kg (gemessen an getrockneten Proben). Dies ist auch der einzige Messwert für Radium über 1'000 Bq/kg.

Kapitel 10 «Schlussfolgerung», Ausschnitt

Bezüglich den Radionukliden, die im beigen Material und im westlichen und zentralen Bereich im obersten Meter der künstlichen Ablagerung mit erhöhten Werten angetroffen werden, wird die NORM-Befreiungsgrenze von 1'000 Bq/kg in ~~mehreren-sieben~~ Proben überschritten. Eine Bergung und Entsorgung dieses Materials wäre bewilligungspflichtig. Da alle gemessenen Uran- und Radium-Aktivitäten deutlich unter den massgeblichen Feststoffaktivitätshöchstwerten gemäss Anhang 5.4 der Wegleitung «Entsorgung von Abfällen, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe (NORM) enthalten» V1.2 vom 27.06.2024 liegen, sind gemäss BAG bezüglich Radionukliden im bestehenden Zustand keine Massnahmen notwendig.

~~Gemäss BAG besteht aber anhand der gemessenen Aktivitäten und Uran-Konzentrationen kein Handlungsbedarf.~~