

Nachweis der langfristigen Wirksamkeit einer Deponiesicherung. Erste Erfahrungen mit der neuen Schweizer Abfallverordnung (VVEA)

Klemens Finsterwalder

Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Hittenkirchen, Deutschland

Hansruedi Aebli

Amt für Natur und Umwelt, Kanton Graubünden, Chur, Schweiz

Inhaltsangabe

In der Schweiz ist am 01. Januar 2016 die „Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen“ (Abfallverordnung, VVEA) in Kraft getreten, die die „Technische Verordnung über Abfälle“ (TVA) aus dem Jahr 1990 ersetzt. Als wesentlich neues Element wurde die Verpflichtung des Deponieinhabers eingeführt, nachzuweisen, dass keine schädlichen und lästigen Einwirkungen auf die Umwelt durch die Deponie mehr zu erwarten sind. Die Behörde hat die Möglichkeit, wenn das Ergebnis des Nachweises belastbar ist, die Nachsorgezeit von 50 Jahren auf 5 bis 15 Jahre abhängig vom jeweiligen Deponietyp zu verringern. Letztlich bedeutet dies eine erhebliche Vereinfachung der Nachsorge und eine erhebliche Reduktion der Nachsorgekosten, wenn in der Planung nach dem „Prinzip Vorsorge“ die Wirksamkeit der Sicherungsmaßnahmen dauerhaft nachgewiesen wurde. Der Schlüssel hierfür ist der Nachweis der Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmen über das Ende der Nachsorgezeit hinaus. Ein validiertes und verifiziertes Verfahren ist der Nachweis der Wirksamkeit mittels Emissionsgrenzwertanalysen (EGrA). Die Nachweise beinhalten die Verknüpfung der Wirksamkeit einer bestimmten Maßnahme mit den jeweiligen Bedingungen vor Ort und den ökologischen Zielvorgaben der Genehmigungsbehörde für einen bestimmten Standort. Am Beispiel einer Schlackendeponie im Kanton Graubünden in der Schweiz wird dieses Vorgehen erläutert.

Stichworte

Nachsorgezeit, Emissionssicherheit, Emissionsgrenzwertanalyse, Prinzip Vorsorge, Planungsstadium, Schweizer Abfallverordnung (VVEA), Schlackendeponie

1 Einleitung

Grundsätzlich besteht unter Ingenieuren Einigkeit, dass die Sicherheit eines Bauwerks schon im Planungsstadium behandelt werden muss, da sie Auswirkungen auf die Ausbildung der Struktur hat. Bei Bauwerken werden auf Grundlage einer Bemessung (Nachweis der Sicherheit) die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nach standortspezifischen Anforderungen ermittelt und auf dieser Grundlage die Abmessungen der Struktur festgelegt (FINSTERWALDER, SAGER 2017).

Bei Deponien und Endlagern, die prinzipiell auch Strukturen sind, wird nur bei der

Standardsicherheit nach dem Prinzip „Vorsorge“ gehandelt, nicht aber bei der Emissionssicherheit. Ein Nachweis der Wirksamkeit der Sicherungssysteme wird durch das Prinzip „Nachsorge“ ersetzt. In der Nachsorgezeit, die bei nicht radioaktiven Stoffen 50 Jahre beträgt, soll über Beobachtungen und Messungen am Objekt der Nachweis der Eignung und Wirksamkeit erfolgen. Wenn Mängel in der Eignung und Wirksamkeit festgestellt werden, müssen entsprechende Maßnahmen zur Ertüchtigung der Wirksamkeit durchgeführt werden.

Auf dem Bausektor wurde dieses Prinzip von der Antike bis ins späte Mittelalter erfolgreich angewendet, weil Fehler unmittelbar (z.B. durch Rissbildung, Einsturz) sichtbar werden. Heute ist das Prinzip "Vorsorge" in der Technik auf der Basis von naturwissenschaftlichen Grundlagen bindend vorgeschrieben (technische Normen), weil nur damit die Sicherheit der Bauwerke bewertet werden kann. Will man die Emissionssicherheit von Endlagern bewerten, ist zwingend ein Paradigmenwechsel vom Prinzip „Nachsorge“ auf das Prinzip „Vorsorge“ erforderlich. Eine absolut bewertbare Sicherheit ist die Voraussetzung für die Festlegung der Abmessungen der Sicherungselemente eines Endlagers.

Im Rahmen der Planung und Errichtung von Deponien ist eine in sich schlüssige und spezifische Gesamtschau aller Beanspruchungen und Widerstände von Standort und Deponiebauwerk erforderlich. Sie bedeutet die Gegenüberstellung der auftretenden Einwirkungen am Standort (Größe der Emissionsquelle, Betriebsdauer, Stofffreisetzung, Stofftransport, Aufstau, usw.) mit den vorhandenen Widerständen (Sorptionsfähigkeit, Schichtmächtigkeit, Durchlässigkeit, usw.) (Abbildung 1). Die Ergebnisse werden mit den Zielvorgaben, z.B. den Auslöseschwellenwerten, verglichen.

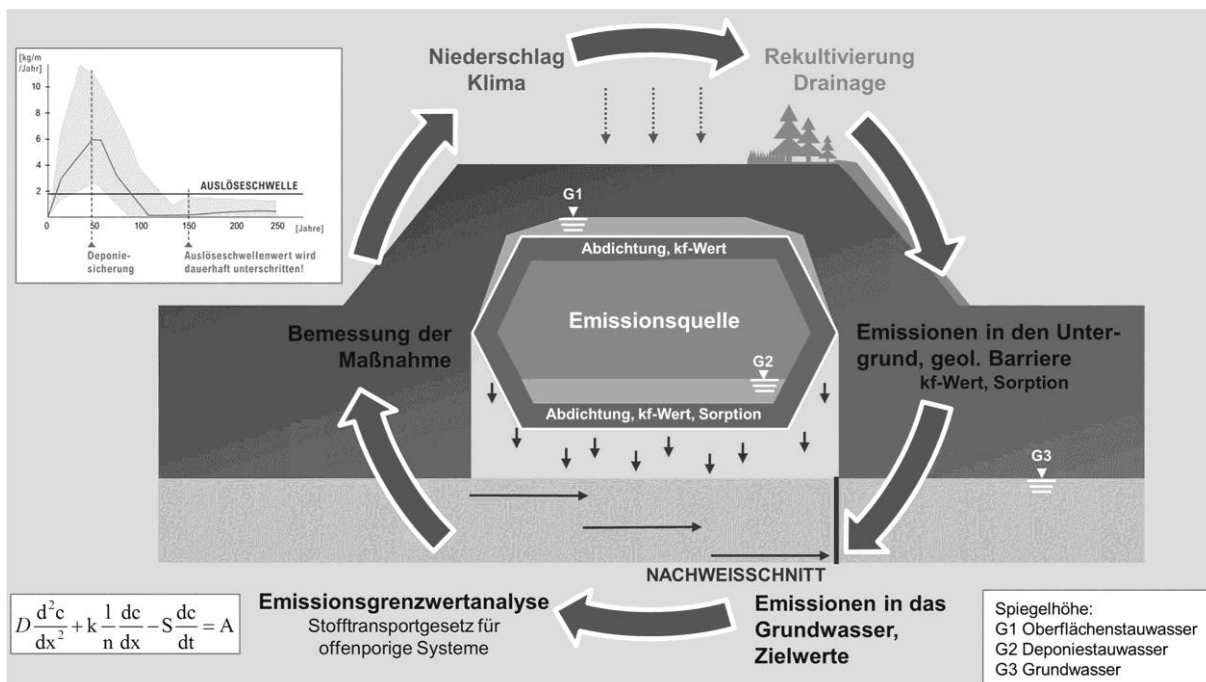


Abbildung 1 Einwirkungen und Widerstände

Seit der Jahrtausendwende ist ein Vorgehen nach dem Prinzip "Vorsorge" bei Endlagern mittels einer Emissionsgrenzwertanalyse (EGrA) verfügbar (FINSTERWALDER, SAGER 2014; FINSTERWALDER, SAGER 2015; FINSTERWALDER, SAGER 2017). Das bedeutet, dass schon in der Planung eine zuverlässige Beurteilung der Emissionssicherheit erfolgt. Während der Bauausführung werden die in der EGrA verwendeten Daten im Rahmen der Qualitätssicherung überprüft und eventuelle Abweichungen auf ihre Auswirkung auf die Emissionssicherheit beurteilt. Das Verfahren (FINSTERWALDER 2001) ist validiert (MANN 1992) und verifiziert (SCHULZ 2003). Es wurde bei einigen Deponien und Altlasten schon erfolgreich in der Schweiz, Österreich und Deutschland eingesetzt, wobei Zeiträume bis zu 4.000 Jahren bei einer Schlackendeponie untersucht wurden, die als Beispiel dient. Kennzeichen einer EGrA ist, dass die Zeit nur ein Rechenwert ist, dessen Größe so gewählt wird, dass der maximale Emissionsgrenzwert abgebildet wird.

2 Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA)

In der Schweiz wurde 2016 die „Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen“ (VVEA) in Kraft gesetzt, die erstmals den Nachweis der Emissionssicherheit fordert und daran die Dauer der Nachsorge koppelt.

In der technischen Verordnung über Abfälle (TVA), die von 1990 bis 2015 in Kraft war, stand Folgendes geschrieben:

- **Deponie-Abschluss:**

- Werden keine Abfälle mehr abgelagert, ist die Oberfläche **abzudecken**.
- Muss wegen der Zusammensetzung des Abwassers verhindert werden, dass Niederschlag in die Deponie einsickern kann, so ist die Oberfläche **abdichten**.

- **Deponie-Überwachung:**

- Nach Abschluss der Deponie muss das Grundwasser so lange überwacht werden, bis schädliche oder lästige Einwirkungen auf die Umwelt unwahrscheinlich erscheinen, aber mindestens 15 Jahre.

In der TVA wurde nicht gesagt:

- wie das *unwahrscheinlich erscheinen lassen* genau bestimmt werden soll,
- welche Zeiträume betrachtet werden müssen,
- ob und wie die Entwicklung der Anlagen und der Abwasserzusammensetzung betrachtet werden muss und
- welche Abhängigkeiten betrachtet werden müssen.

Das waren wunderbare Vorgaben, die der Kreativität der Planer viel Spielraum offen ließen.

Zum 1. Januar 2016 wurde die revidierte TVA, die **Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA)**, in Kraft gesetzt. Darin wird das Thema Deponie-Abschluss, Überwachung und Nachsorge ausführlicher behandelt.

Neu ist,

- dass für die Deponien alle 5 Jahre eine neue Betriebsbewilligung erteilt werden muss (Art. 40),
- dass schon bei der ersten Betriebsbewilligung ein **Vorprojekt** für den Deponie-Abschluss vorliegen muss (Art. 40),
- dass bis spätestens ein halbes Jahr vor Ende des Deponiebetriebes ein **Abschlussprojekt** vorliegen muss, worin sichergestellt werden muss, dass die Anforderungen an:
 - o den Oberflächenabschluss und
 - o das Bauwerk während der ganzen Nachsorgephase erfüllt werden und
- dass die Nachsorgephase höchstens 50 Jahre, mindestens jedoch 15 Jahre dauert, wenn keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind.

Während der Nachsorgephase muss das Bauwerk gewartet und das Grund- und Sickerwasser überwacht werden. In der VVEA wird auf die Nachsorgephase nicht näher eingegangen.

In den Übergangsbestimmungen (Art. 53 VVEA) werden für bestehende Deponien drei Zustände definiert, die entweder den Weiterbetrieb erlauben, sofort eine Sanierung verlangen oder die eine Abwehr einer Gefahr von schädlichen oder lästigen Einwirkungen oder der konkreten Gefahr dazu durch Maßnahmen in der Nachsorgephase erlauben. Für diese Beurteilung wird der Behörde eine Vollzugshilfe **Gefährdungsabschätzung bei Deponien (GA)** zur Verfügung gestellt. Zurzeit liegt sie in einem Anhörungs-exemplar vor.

In der GA wird der Begriff der Nachsorge definiert:

"Nachsorge bei Deponien umfasst die Kontrolle der Anlagen, des Grundwassers, des Abwassers und der Deponiegase so lange, bis schädliche oder lästige Einwirkungen auf die Umwelt als unwahrscheinlich erscheinen" und

"nach 50 Jahren sollen keine aktiven Maßnahmen wie Sickerwasser- und Abluftreinigung zum Schutz der Umwelt mehr notwendig sein" und

*"bezogen auf das Grundwasser bedeutet dies, dass von einer abgeschlossenen Deponie **DAUERHAFT** keine konkrete Gefahr einer Verunreinigung von nutzbarem oder genutztem Grundwasser oder Oberflächengewässer ausgehen darf."*

Im Abschlussprojekt muss gezeigt werden, dass und wie dies möglich ist.

Dieser Begriff des Nachweises der Dauerhaftigkeit beschäftigt uns in diesem Vortrag. Wie kann sie nachgewiesen werden? Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) schlägt dazu die GA vor. Die GA zur Beurteilung bestehender Deponien und der Nachsorgedauer soll 3-stufig durchgeführt werden. Sie soll schlüssige Resultate liefern, ob aktuell, innert und nach der Nachsorgedauer die Gefahr von schädlichen und lästigen Einwirkungen auf die Umwelt, bedingt durch die Deponie ausgeschlossen werden kann.

In diesem Zusammenhang sind Kenntnisse über den Zustand und die voraussichtliche **Entwicklung** des Deponiebauwerkes sowie der davon ausgehenden Emissionen relevant. Hier wird der Begriff Entwicklung erstmals aufgeführt. Es wird vorgeschlagen Entwicklungen auf der Basis von Trendanalysen der Überwachungsergebnisse und Modellierungen voraus zu sagen.

Das in der GA beschriebene Ende der Nachsorgephase, wonach dann durch natürliche Vorgänge (chemische Reaktionen, biologischer Abbau, Elution, usw.) und aktive Maßnahmen (Sickerwasserrückführung, Aerobisierung, Dekontamination, usw.) der Deponieinhalt in eine Form überführt ist, so dass davon nach Degradation oder dem totalen Ausfall der technischen Sicherungsmaßnahmen keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen mehr ausgehen, greift zu kurz und ist für Schlackendeponien nicht anwendbar. Es muss das Gesamtsystem mit den Streubreiten aller Komponenten betrachtet werden.

Hier setzt die in diesem Vortrag vorgestellte Emissionsgrenzwertanalyse (EGrA) an. Sie ist keine deterministische Modellierung, die an Messwertem kalibriert werden muss wie in der GA gefordert, sondern eine probabilistische Berechnung, wo die Werte mit einer Streubreitenverteilung berücksichtigt werden und Bereiche angibt, wo das Auftreten von Emissionen möglich ist. In der Beurteilung unseres Amtes steht mit der EGrA ein Instrument zur Verfügung, das eine numerische Bewertung der Deponie mit allen relevanten Parametern zulässt und Bewertungsbereiche aufzeigt, wo die Messwerte mit großer und kleiner Wahrscheinlichkeit auftreten, bzw. Bereiche wo nie Messwerte auftreten werden.

Für die Bewertung der Deponien werden von den Behörden Konzentrationswerte festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen, wir bezeichnen sie als **Auslöseschwellen**. Wenn nachgewiesen werden kann, dass sie dauerhaft unterschritten bleiben, kann eine Deponie aus der Nachsorge entlassen werden. Die Auslöseschwellen stellen die Grenze dar, die ein Sanierungsfall definieren würde. D.h. das Überschreiten der Auslö-

seschwellen müsste als schädliche oder lästige Einwirkungen auf die Umwelt bezeichnet werden und würde ein Sanierungsfall definieren. Die Auslöseschwellenwerte sind als Konzentrationswerte in den Anhängen der Altlasten- und der Gewässerschutzverordnungen festgelegt. Die Auslöseschwellen hängen von der Situierung der Deponie bezüglich des Gewässerschutzes ab, d.h. sie sind ortsspezifisch. Das bedeutet, dass die Auslöseschwellen als maximale Immissionswerte ortsspezifisch definiert werden und der Deponieabschluss so gebaut werden muss, dass diese dauerhaft unterschritten bleiben.

Dieses Vorgehen kann als Schritt hin zu Zielvorschriften, bzw. weg von Mittelvorschriften verstanden werden. D.h. zuerst wird das Ziel festgelegt, dann wird so gebaut, dass dieses dauerhaft unterschritten wird.

Momentan können wir als kantonale Behörde dem Deponiebetreiber nicht vorschreiben wie er den Nachweis der Emissionssicherheit erbringen muss. Wir werden aber die EGrA zur Beurteilung der Emissionssicherheit beziehen. Die GA ergibt aus unserer Sicht zu wenig eindeutige Resultate, weil es sich um eine qualitative Beurteilung handelt und mit deterministischen Modellen arbeitet, die viel Interpretationsspielraum lassen. Mit der EGrA steht ein Mittel zur Verfügung, das eine quantitative Beurteilung ermöglicht und direkt für die Projektierung des Deponieabschlusses einsetzbar ist.

3 Grundlagen der Definition der Sicherheit von Deponien

Die ökologischen Zielvorgaben, die den Maßstab für die Bewertung der Sicherheit bilden, müssen von den zuständigen Behörden vorgegeben werden. Für die Sicherheit sind dies, wie im Kapitel 2 zuvor genannt, der maximal zulässige Emissionsgrenzwert (Auslöseschwellenwerte ASW) und Vorgaben zur Eingliederung des Standortes nach der Schließung des Endlagers in die Natur. Auslöseschwellen sind Grenzwerte, bei deren Überschreitung Maßnahmen zur Gefahrenabwehr ergriffen werden müssen (VVAE 2016). Ihre Höhe orientiert sich am Wohl der Allgemeinheit, das von den zuständigen Behörden definiert wird. Die Emissionssicherheit ist gegeben, wenn die Gleichung (1) erfüllt ist.

$$v \geq ASW / EGr \quad (1)$$

v Sicherheit

ASW Auslöseschwellenwert

EGr Emissionsgrenzwert

Da die Emissionsgrenzwerte zeitabhängig sind, ist die mit Gleichung 1 ermittelte Sicherheit eines Endlagers auch zeitabhängig. Ziel ist es deshalb, die Sicherungsmaß-

nahmen so zu bemessen, dass zum Zeitpunkt der maximalen Emission mindestens die Sicherheit $v > 1$ ist.

Aus den Ergebnissen der Emissionsgrenzwertanalysen wird ermittelt, welcher aus der Vielzahl der Inhaltsstoffe des Endlagers für die Bemessung der Wirksamkeit der Sicherung maßgebend ist. Dieser Leitparameter definiert den Grenzzustand zur Bestimmung der Sicherheit. Für alle anderen Stoffe ist die Sicherheit naturgemäß höher. Auch wenn nur einzelne Stoffe in einer Berechnung interessieren, ist es dennoch erforderlich, alle löslichen Bestandteile in die Berechnung einzuführen, um den Einfluss auf die Belegung der freien Sorptionsplätze und die Wechselwirkungen unter allen Inhaltsstoffen, zu berücksichtigen.

4 Emissionsgrenzwertanalyse für ein Endlager

4.1 Beispiel Schlackendeponie

Das in diesem Beitrag diskutierte Beispiel behandelt eine Schlackendeponie, die so gesichert werden soll, dass die behördlichen Vorgaben der Einleitbedingungen des Sickerwassers und der Grundwasserbelastung eingehalten werden. Sulfat ist der Leitparameter für den Standort, das bedeutet, wenn dieser Wert eingehalten ist, trifft dies auch für alle anderen Sickerwasserinhaltsstoffe zu. Einzuhalten ist ein Belastungsgrenzwert des Sickerwassers für den Parameter Sulfat von 400 mg/l, sowie eine Grundwasserbelastung im Abstrom der Deponie von 7,5 kg/(m·a) (Auslösefracht; standortspezifischer Wert), entsprechend einer Konzentration von 20 mg/l. Hierzu wurden Emissionsgrenzwertanalysen (EGrA) für das Stoffgemisch der mobilen Inhaltsstoffe des Standortes durchgeführt. Am Beispiel des Leitparameters Sulfat werden die Ergebnisse dargestellt. Die Deponie hat eine Basisabdichtung. Das Deponiesickerwasser wird über ein Dränsystem abgeleitet und gereinigt. Wenn die Deponie nur abgedeckt wird, wird der mobile Anteil im Abfall im Laufe der Zeit ausgewaschen, wobei ein Teil in den Grundwasserleiter gelangt und der andere Teil als Sickerwasser anfällt, das behandelt wird.

Die Bemessung der Deponiesicherung erfolgt in folgenden Schritten:

- a) Grenzwertanalyse des Istzustandes. Hier wird das Potential der Umweltbelastung im Verhältnis zum geforderten Zielwert sichtbar.
- b) Variantenuntersuchung mit verschiedenen Sicherungsmaßnahmen. Hier werden die Maßnahmen ausgeschieden, deren maximaler Emissionsgrenzwert größer als der vorgegebene Auslöseschwellenwert ist.
- c) Aus den geeigneten Maßnahmen wird die ermittelt, die unter den gegebenen Randbedingungen das beste Preis- / Leistungsverhältnis aufweist.

Unter der Voraussetzung, dass die Deponieoberfläche mit Buschwerk und Gras bewachsen ist, erhält man für den Istzustand die in den Abbildungen 2a bis 2c dargestellten Ergebnisse über einen Zeitraum von 1.000 Jahren. Abbildung 2a zeigt die Veränderung der Sickerwassermenge in $l/(m^2 \cdot a)$ durch die Entwicklung der Vegetation, Abbildung 2b die Veränderung der Sickerwasserfracht in $kg/(m^2 \cdot a)$ über die Drainage und Abbildung 2c den Verlauf der Emissionsgrenzwerte in $kg/(m \cdot a)$ im Grundwasser.

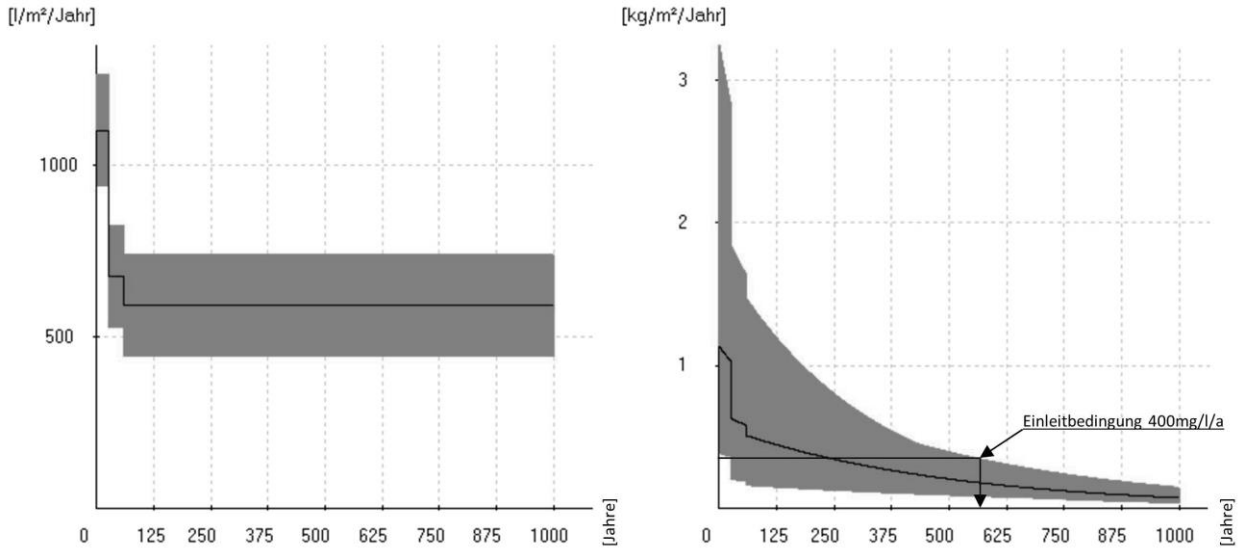


Abbildung 2a (links) Istzustand, Oberfläche Vegetationsschicht; Sickerwasserablauf und Abbildung 2b (rechts) Istzustand, Oberfläche Vegetationsschicht; Sickerwasserfracht

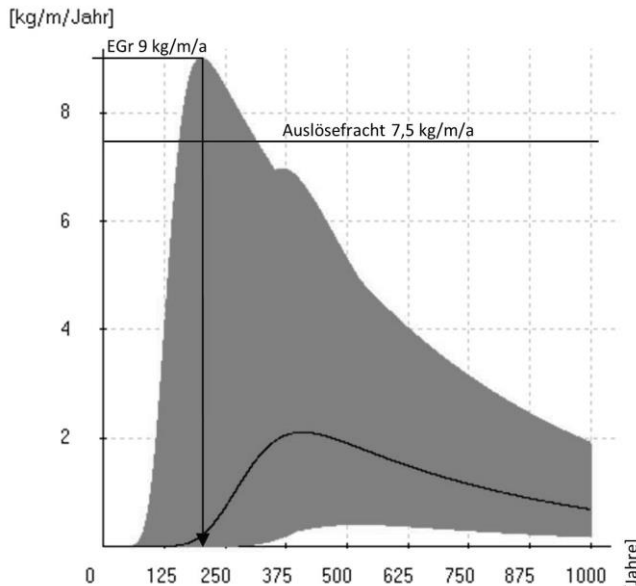


Abbildung 2c Istzustand, Oberfläche Vegetationsschicht; Auslöseschwellenwert: 20 mg/l ; zugehörige Auslösefracht: 7,5 $kg/m \cdot a$, Emissionsgrenzwert 9 $kg/(m \cdot a)$

Die Einleitbedingung des Sickerwassers von 400 mg/l werden nach 580 Jahren einge-

halten. Die behördliche Auslösefracht von $7,5 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$ wird mit dem Emissionsgrenzwert, als absoluter Beurteilungsmaßstab, von $9 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$ für einen Zeitraum von ca. 200 Jahren überschritten. Die Sicherheit v nach Gl. 1 beträgt $v = 7,5/9 = 0,8$. Das bedeutet, dass Handlungsbedarf zur Einhaltung der ökologischen Zielvorgaben besteht.

Im nächsten Schritt wird eine mögliche Oberflächensicherung aus einem Kies-, Sand-, Tongemisch untersucht, die von einer Dränschicht und einer Bodenschicht mit Vegetation überlagert wird. Der Ablauf des Sickerwassers wird nach der Fertigstellung der Oberflächensicherung verschlossen. Ein Aufstau im Deponiekörper ist auf 3 m begrenzt. Das Ergebnis dieser Maßnahmen zeigen die Abbildungen 3a (Abfluss Sickerwasser in $\text{l}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$) und 3b (Emissionsgrenzwerte in $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$ im Grundwasser).

Nach dem Aufbringen der Sicherung treten kein Sickerabfluss und auch kein Aufstau auf. Die Abbildung 3b zeigt, dass die ersten 350 Jahre nach dem Aufbringen der Oberflächensicherung keine Emissionen zu erwarten sind. Der maximale Emissionsgrenzwert tritt nach 1.600 Jahren auf und beträgt $2,8 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$ und unterschreitet die behördliche Auslösefracht von $7,5 \text{ kg}/\text{ma}$ Sulfat dauerhaft erheblich.

Der maximale Emissionswert auf Basis von Mittelwerten wird nach 4.000 Jahren erreicht und beträgt $0,79 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$. Die Sicherheit v der untersuchten Sicherungsmaßnahme beträgt nach Gl. 1 $v = 7,5/2,8 = 2,7$. Diese Variante erfüllt die ökologischen Vorgaben der Behörde.

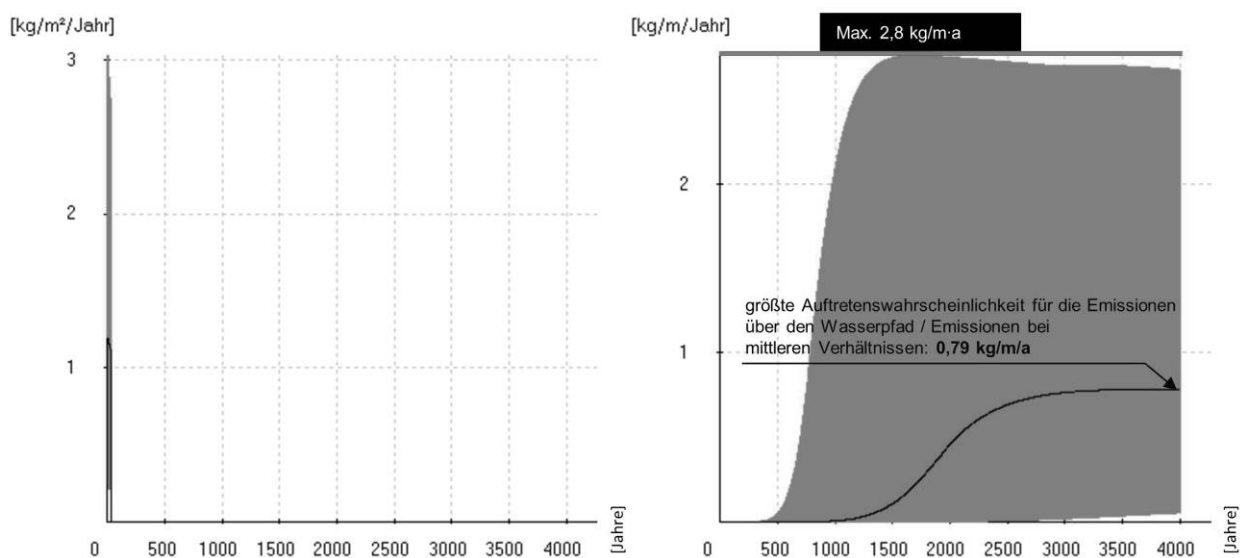


Abbildung 3a (links) Zustand mit Sicherung, Mineralische Abdichtung als Oberflächenabdichtung; Sickerwasserablauf und

Abbildung 3b (rechts) Auslöseschwellenwert: $20 \text{ mg}/\text{l}$; zugehörige Auslösefracht: $7,5 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$, Emissionsgrenzwert $2,8 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{a})$

Setzt man Zahlen aus der Abbildung 3b ins Verhältnis zu der in der VVEA vorgegebenen Nachsorgezeit von 50 Jahren, in der der Nachweis erbracht werden muss, dass

von der Deponie keine „schädlichen oder lästigen Auswirkungen auf die Umwelt ausgehen“, ist dieser Nachweis auf der Basis von Messungen unmöglich.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die absolute Bewertung der Sicherheit bedeutet Rechtssicherheit in der Genehmigungs- und Bauphase, weil die geltenden Genehmigungsstandards nach den Prinzipien des Baurechts eingehalten werden können, das besagt, dass schon als Ergebnis der Planung eine belastbare Aussage zur Sicherheit gemacht werden muss. Dazu kommt die Möglichkeit, Standorte nach Eignung und Kosten auf einer einheitlichen Grundlage zu vergleichen. Eine Nachsorge im herkömmlichen Sinn ist nicht erforderlich. Erforderlich ist, wie bei jedem Bauwerk, während der Bauphase über die Qualitätssicherung den Nachweis zu erbringen, dass nach den Vorgaben der Planung gearbeitet wurde.

Deponien sind nur dann nach der VVEA als Endlager bestätigt, wenn die Umweltverträglichkeit auch für den Zeitraum nach der Einstellung sämtlicher Wartungsarbeiten zuverlässig belegt werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn das Gefährdungspotential mit dauerhaft wirksamen Sicherungsmaßnahmen von Beginn an so verringert wird, dass der tolerierbare Zustand für einen Standort dauerhaft eingehalten wird. Der notwendige Betrachtungszeitraum ist ein Ergebnis der Emissionsgrenzwertanalyse, also abhängig von den Bedingungen des Standorts und den Forderungen der Behörde.

Der vorgestellte Lösungsweg ist die auf Umweltverträglichkeit bemessene Deponie mit dem Verfahren der Emissionsgrenzwertanalyse als Bestandteil der Planung. Die Vorgänge in und um die Deponie in Abhängigkeit der veränderlichen Randbedingungen und der Zeit werden umfassend berücksichtigt. Die Bemessung erfolgt für die Standsicherheit und für die Emissionssicherheit. Auf Grundlage dieser Bemessung können nach standortspezifischen Anforderungen die Eigenschaften der Sicherungselemente in Art, Aufbau und Verfahrenstechnik gezielt entwickelt werden. (FINSTERWALDER, SAGER 2017).

Wenn die Planungsvoraussetzungen bei der Herstellung der Sicherung erfüllt wurden, ist keine Nachsorge im herkömmlichen Sinn erforderlich. Die Erfahrung mit Deponien, deren Sicherung unter Anwendung von Emissionsgrenzwertanalysen bemessen wurde, zeigte bislang in allen Fällen deutlich verringerte Investitionsaufwendungen.

Literatur

- Abfallverordnung Schweiz 2016 814.600 Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA), In Kraft getreten: 01.01.2016
- Finsterwalder, K. 2001 Bemessung der Leistungsfähigkeit von Oberflächenabdichtungen durch Berechnung der Emissionen und Frachten. *In: Oberflächenabdichtung und Reaktivierung von Deponien. 4. Deponieseminar des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz, Selbstverlag Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz.*
- Finsterwalder, K., Sager, D. 2014 Prinzip Vorsorge zur Beendigung der Nachsorge - Erläutert anhand von Fallbeispielen. 6. Praxistagung Deponie 2014, Hannover, wasteconsult, 10. - 11.12.2014.
- Finsterwalder, K., Sager, D. 2015 Bemessung von Sicherungssystemen für Deponien und Altablagerungen. *In: Müll und Abfall 05 (2015), S. 272 - 277.*
- Finsterwalder, K., Sager, D. 2017 Verfahren zur langfristigen Sicherheitsbetrachtung von Deponiebauwerken. Vorgesehen in: Bauingenieur, Hauptaufsatz, Januar 2017, Springer VDI Verlag, Düsseldorf.
- Mann, U. 1992 Der Stofftransport durch mineralische Deponieabdichtungen: Versuchsmethodik und Berechnungsverfahren.
- Schulz, H., Finsterwalder, K., Schmid, J. 2003 Prognose des Variationsbereiches der Emissionen und Frachten auf Boden- und Grundwasserpfad am Altstandort „UU“ und „UK“ unter Einbeziehung von Frachtmessungen am Deponierand der zur Validierung der Systeme BLACE und DESi Variation. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. Klemens Finsterwalder
Finsterwalder Umwelttechnik GmbH & Co. KG
Mailinger Weg 5
D-83233 Bernau am Chiemsee / Hittenkirchen
Tel.: +49 80 51 96 59 10 10
E-Mail: k.finsterwalder@fitec.com
Web: www.fitec.com

Hansruedi Aebli, Dipl. Geologe
Altlasten / Deponien / Grundwasser
Amt für Natur und Umwelt Graubünden (ANU)
Gürtelstrasse 89
CH-7001 Chur
Tel.: +41 81 257 29 97
E-Mail: hansruedi.aebli@anu.gr.ch
Web: www.anu.gr.ch