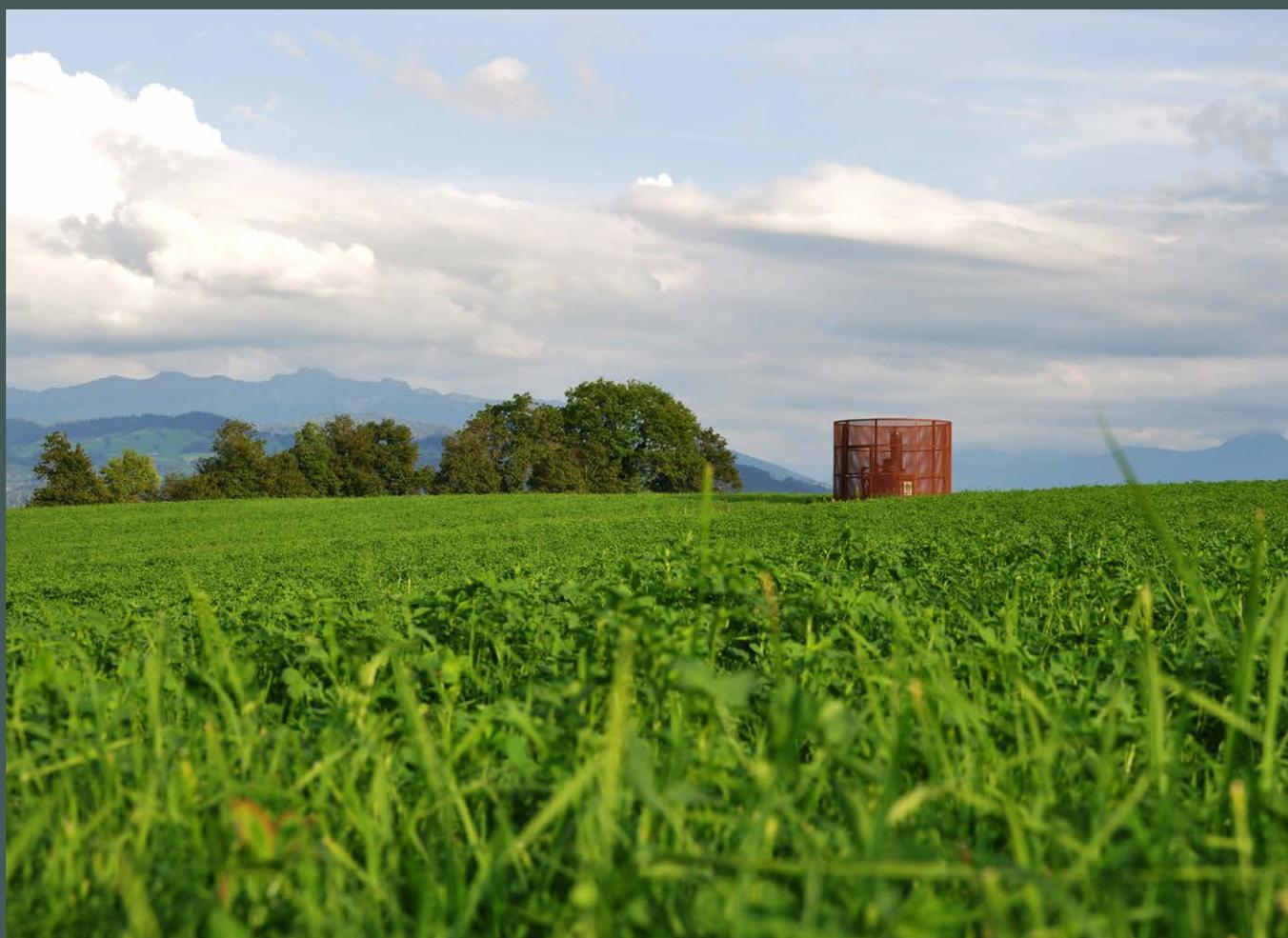


Deponien

Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Deponien

Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

André Laube (Abteilung Abfall und Rohstoffe, BAFU) et al.

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2019: Deponien. Ein Modul der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1826

Grafik

Firstbrand

Gestaltung

Cavetti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Rekultivierte Deponieoberfläche mit Lochsieb verkleidetem Pumpenschacht

© LAA, 2019

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1826-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2019

Inhaltsverzeichnis

Abstracts	5
-----------	---

Vorwort	6
---------	---

Gefährdungsabschätzung bei Deponien	
-------------------------------------	--

Abstracts

These implementation guidelines set out the legal foundations for the 'Landfills' module. Undefined legal terms are explained in greater detail in the interests of more standardised implementation with regard to the establishment and operation of landfill waste disposal sites. The guidelines are aimed primarily at implementing authorities within cantonal and commune administrations.

Keywords:

Landfills, risk assessment, ADWO implementation

Diese Vollzugshilfe erläutert rechtliche Grundlagen für das Modul «Deponien». Unbestimmte Rechtsbegriffe werden in Hinblick auf einen einheitlicheren Vollzug beim Errichten und Betreiben der Abfallanlagen Deponien konkretisiert. Die Vollzugshilfe richtet sich in erster Linie an die Vollzugsbehörden in den kantonalen und kommunalen Verwaltungen.

Stichwörter:

Deponien, Gefährdungsabschätzung, Vollzug VVEA

La présente aide à l'exécution explique les bases légales relatives au module «Décharges». Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution dans les administrations cantonales et communales, elle concrétise des notions juridiques indéterminées en vue de favoriser une application uniforme de la législation dans le cadre de l'aménagement et de l'exploitation de décharges.

Mots-clés :

décharges, estimation de la mise en danger, exécution OLED

Il presente aiuto all'esecuzione illustra le basi legali per il modulo «Discariche». Vengono specificati concetti giuridici indeterminati al fine di un'esecuzione pi uniforme nella costruzione e nell'esercizio delle discariche. L'aiuto all'esecuzione destinato in primo luogo alle autorit esecutive delle amministrazioni cantonali e comunali.

Parole chiave:

discariche, valutazione del pericolo, esecuzione OPSR

Vorwort

Die Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA, SR 814.600) ist ein wichtiger Meilenstein im Schweizer Abfallrecht. Dieser im Jahr 2015 totalrevidierte Erlass ist in den konkreten Inhalten ein innovativer und mutiger Schritt, der einerseits bewährte Prozesse beibehält und weiter optimiert, gleichzeitig aber auch neue, in die Zukunft reichende Regelungen aufführt und damit Weichen für eine zukunftsfähige Schweiz stellt.

Der strategische Ansatz der Abfallverordnung ist die Betrachtung der Abfälle als Rohstoffquelle und damit auch als Rohstoffe in einem qualitativ hochstehenden Kreislauf. Der Vollzug dieser neuen Verordnung wirft aber auch Fragen auf und stellt die Behörden vor verschiedene Herausforderungen. Die vorliegende Vollzugshilfe dient der Bewältigung und Harmonisierung dieser anspruchsvollen aber eminent wichtigen Vollzugsaufgaben.

Die Vollzugshilfe zur VVEA wurde in Zusammenarbeit mit den Kantonen, Branchenverbänden der Wirtschaft sowie anderen Bundesämtern erarbeitet und ist modular aufgebaut: In jedem Modul werden konkretisierende Rahmenbedingungen zu einem spezifischen Thema beschrieben (z.B. Bauabfälle, Deponien, Berichterstattung). Die Module sind teilweise zusätzlich in thematische Teile untergliedert. Die Publikationen der Vollzugshilfe sind in deutscher, französischer und italienischer Sprache elektronisch unter www.bafu.admin.ch/vollzug-vvea verfügbar.

Das Modul «Deponien» umfasst den Bereich der Ablagerung von nicht verwertbaren Abfällen in den dafür geeigneten Abfallanlagen, den Deponien. Es thematisiert die relevanten Umweltbelange bei Deponien sowie den Umgang mit diesen und fördert die Rechtsicherheit und -gleichheit für deren Inhaber und Betreiber. Das BAFU dankt allen, die zum Gelingen der Publikation beigetragen haben, insbesondere den Mitwirkenden in den Begleitgruppen der einzelnen Modulteile. Sie haben sich in engagierter Weise mit ihren Erfahrungswerten für möglichst einfach anwendbare, praxistaugliche Lösungen zur Gewährleistung der Erfüllung umweltrechtlicher Anforderungen im Deponiebereich eingesetzt.

Karine Siegwart
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Gefährdungsabschätzung bei Deponien

Teil des Moduls Deponien der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Impressum

Rechtlicher Stellenwert

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Basierend auf dem Konzept Einheitliche Gefährdungsabschätzung bei Deponien (2013) des Projektteams:

C. Niederer/C. Munz, Arcadis Schweiz AG

C. Poggendorf, Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH

J. Zenger, CSD Ingenieure AG

Autoren

André Laube, Abteilung Abfall und Rohstoffe (BAFU)

Christian Niederer (Arcadis Schweiz AG)

Jörg Zenger (CSD Ingenieure AG)

Begleitung

Benjamin Blumer (VBSA), Bernhard Brunner (Cercle déchets, Zentralschweiz), Satenig Chadoian (Abteilung Recht, BAFU), Pierre-Yves Donzel (CIRTD), Tensing Gammeter (Cercle déchets, Ostschweiz/FL), André Laube (Abteilung Abfall und Rohstoffe, BAFU [Vorsitz]), Romy Scheidegger (Abteilung Abfall und Rohstoffe, BAFU), Oliver Steiner (Cercle déchets, Nordwestschweiz).

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2019: Gefährdungsabschätzung bei Deponien. Teil des Moduls Deponien der Vollzugshilfe zur Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1826: 62 S.

Grafik

Firstbrand

Gestaltung

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Begehbarer Kontrollschacht

© LAA, 2019

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1826-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4	6	Qualitätssicherung	23
2	Rechtliche Grundlagen und Geltungsbereich	5	7	Verzeichnisse	24
2.1	Betriebsbewilligung und Gefährdungsabschätzung	5	7.1	Abbildungen	24
2.2	Überwachung der Deponie	6	7.2	Literatur	24
2.3	Einleitung gefassten Deponiesickerwassers	6			
2.4	Nachsorge	6			
3	Grundsätzliches zur Gefährdungsabschätzung	8		Anhänge	26
3.1	Einordnung	8	A-1	Basisdaten	26
3.2	Ziele	8	A-2	Deponiemonitoring	27
3.3	Betrachtungsrahmen	11	A-3	Hauptprüfung, Bewertungsmatrix	30
3.4	Ablauf	11	A-3.1	Kriterien für Deponien Typ B – selektiv für Typ A	32
			A-3.2	Kriterien für Deponien Typen C, D, E	38
			A-4	Hauptprüfung, numerische Kriterien	46
			A-5	Detailprüfung Erläuterung	48
			A-6	Statistische Datenauswertung	52
			A-7	Inhalte der Prüfungsdokumentation	62
4	Stufen der Gefährdungsabschätzung	13			
4.1	Erforderliche Ausgangsinformationen	13			
4.2	Vorprüfung	13			
4.3	Hauptprüfung	14			
4.4	Detailprüfung	16			
5	Überwachung von Sicker- und Grundwasser	20			
5.1	Ziele der Überwachung	20			
5.2	Durchführung der Messungen	20			
5.2.1	Messstellen	20			
5.2.2	Messintervalle	20			
5.2.3	Probenahme, Analytik, Schüttungsmessungen	21			
5.3	Auswertung von Messresultaten – in der Hauptprüfung	21			
5.3.1	Datenaufbereitung	21			
5.3.2	Dateninterpretation	21			

1 Einleitung

Die Nachsorgedauer bei Deponien muss auf eine überschaubare Zeit beschränkt sein. Nach spätestens 50 Jahren sollen keine aktiven Massnahmen wie der Unterhalt von Entwässerungs- und Entgasungsanlagen zum Schutz der Umwelt mehr notwendig sein. Bezogen auf den wichtigsten Emissionspfad – das Wasser – bedeutet dies, dass von einer abgeschlossenen Deponie dauerhaft keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf nutzbares oder genutztes Grundwasser oder auf Oberflächengewässer ausgehen dürfen.

Die Vollzugshilfe zeigt auf, wie eine Überprüfung von Deponien hinsichtlich genannter Ziele vorzunehmen ist. Damit soll eine schweizweit einheitliche Methodik zur Anwendung kommen. Daraus resultierende Massnahmen werden sich somit auf vergleichbare Grundlagen abstützen und finanzielle Rückstellungen für die Deponienachsorge werden auf verlässlicherer Basis und insofern gezielter festgelegt werden können.

Im Zusammenhang mit dem Weiterbetrieb von vor Inkrafttreten der Abfallverordnung (VVEA, SR 814.600) in Betrieb genommenen Deponien hat die kantonale Behörde bis spätestens am 31. Dezember 2020 zu beurteilen, ob entsprechende Deponien und Kompartimente aktuell die Umwelt gefährden oder innerhalb von 50 Jahren nach deren Abschluss die Umwelt gefährden können. Die Inhaber solcher Deponien liefern der Behörde dafür die notwendigen Grundlagen. Ein Weiterbetrieb ist nur zulässig, wenn nach Zielvorgabe der Altlasten-Verordnung (AltIV, SR 814.680) bestehende Gefährdungen beseitigt und absehbare Gefährdungen mit geeigneten Massnahmen dauerhaft verhindert werden.

Das dreistufige Vorgehen für die Gefährdungsabschätzung bezweckt, den Arbeitsaufwand in Grenzen zu halten und gleichwohl eine plausible, verlässliche Beurteilung vornehmen zu können. Die Vorprüfung hat u. a. zum Ziel, unkritische Fälle frühzeitig zu erkennen und weitere Überprüfungsarbeit zu vermeiden. In dieser ersten Prüfstufe werden keine Emissionsprognosen im Sinne einer Risikobewertung durchgeführt. In der Hauptprüfung hingegen werden zumindest qualitative und semiquantitative Überlegungen zu künftigen Emissionen sowie zu deren Einwirkung auf Schutzgüter angestellt. Erst in der Detailprüfung werden Emissionsmodellierungen durchgeführt. Die Untersuchungen der jeweiligen Prüfstufe bauen immer auf den Ergebnissen der vorhergehenden Stufe und auf zusätzlichen Abklärungen auf.

2 Rechtliche Grundlagen und Geltungsbereich

2.1 Betriebsbewilligung und Gefährdungsabschätzung

Wer eine Deponie betreiben will, braucht dafür gemäss Artikel 30e Absatz 2 des Umweltschutzgesetzes vom 7. Oktober 1983 (USG, SR 814.01) eine Bewilligung der kantonalen Behörde. Die Betriebsbewilligung einer Deponie wird von der kantonalen Behörde auf höchstens 5 Jahre befristet. Vor einer Erneuerung der Betriebsbe-

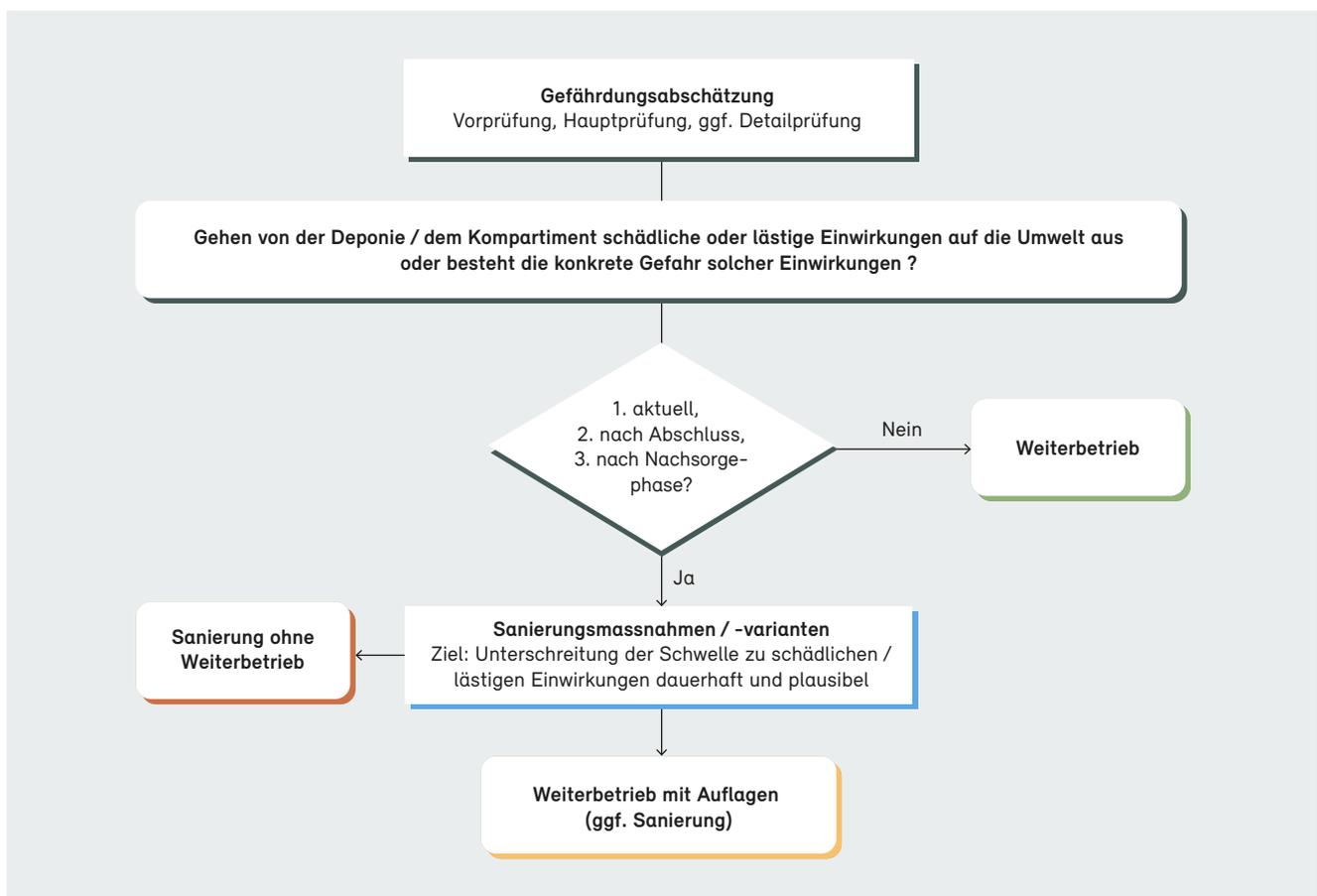
willigung überprüft die Behörde, ob die Deponie immer noch alle Bewilligungsvoraussetzungen einhält.

Deponien, die vor Inkrafttreten der Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen vom 4. Dezember 2015 (Abfallverordnung VVEA, SR 814.600) in Betrieb genommen wurden, dürfen weiterbetrieben werden, wenn sie die Anforderungen der VVEA für die Erteilung einer Betriebsbewilligung bis spätestens am 31. Dezember 2020 erfüllen. Bis spätestens zu diesem Zeitpunkt sind

Abbildung 1

Gefährdungsabschätzung als Entscheidungsgrundlage

Die Resultate der Gefährdungsabschätzung sind Grundlage für den Entscheid zum Weiterbetrieb bei vor Inkrafttreten der VVEA in Betrieb genommenen Deponien gemäss Artikel 53 Absatz 2 VVEA. Falls bereits eine Voruntersuchung nach AltIV für die Deponie existiert (kein Regelfall), so kann diese für die hier diskutierte Gefährdungsabschätzung mitberücksichtigt werden.



die Deponien durch die kantonale Behörde daraufhin zu beurteilen, ob von der Deponie oder von Kompartimenten schädliche oder lästige Einwirkungen auf die Umwelt ausgehen oder ob sie innerhalb von 50 Jahren nach ihrem Abschluss voraussichtlich zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen führen können. Die Beurteilung der Gefährdung ist von der Behörde aufgrund gelieferter Grundlagen der Inhaber der betreffenden Deponie vorzunehmen. Sind aktuell schädliche oder lästige Einwirkungen vorhanden oder besteht die konkrete Gefahr solcher Einwirkungen, darf die Deponie nicht weiterbetrieben werden, solange nicht sichergestellt ist, dass sie nach den Zielvorgaben der Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten vom 26. August 1998 (AltIV, SR 814.680) saniert wird. Bestehen heute keine solchen Einwirkungen, aber die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung zeigen, dass es während dem Weiterbetrieb und innerhalb von 50 Jahren nach Abschluss der Deponie zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen durch die Deponie auf die Umwelt kommt oder zumindest die konkrete Gefahr dafür besteht, sind entsprechende Massnahmen zur dauerhaften Verhinderung dieser Einwirkungen umzusetzen. Die Überprüfung respektive Aktualisierung der erarbeiteten Gefährdungsabschätzung im Rahmen der alle 5 Jahre zu erneuernden Betriebsbewilligung ermöglicht es, die jeweils erforderliche Anpassung der Deckung der Kosten für die Nachsorge gezielter vorzunehmen.

Bestehende, vor Ende 2020 abgeschlossene Deponien

Für Deponien, welche noch vor dem 31. Dezember 2020 geschlossen werden, also keine Abfälle mehr annehmen werden und bei denen der Oberflächenabschluss fertiggestellt wird, ist gemäss Artikel 42 VVEA der kantonalen Behörde ein Abschlussprojekt zur Genehmigung einzureichen. In diesem Rahmen muss auch klar werden, ob gegebenenfalls Massnahmen zur Verhinderung möglicher schädlicher oder lästiger Einwirkungen der Deponie auf die Umwelt notwendig sind (Art. 42 Abs. 2 Bst. c VVEA). Hier kann eine Gefährdungsabschätzung als Grundlage durchaus sinnvoll sein.

Bereits in Nachsorgephase stehende Deponien

Für Deponien, welche sich bereits in der Nachsorgephase befinden, kann eine Gefährdungsabschätzung dienlich sein. Hier hängt es davon ab, in welcher Form die kantonale Behörde die Nachsorge bereits geregelt hat und welche Anpassungen entsprechend möglich sind.

2.2 Überwachung der Deponie

Mit einer regelmässigen Überwachung des Grundwassers und des allenfalls gefassten Sickerwassers einer Deponie kann festgestellt werden, ob von der Deponie schädliche Einwirkungen auf die Umwelt ausgehen. Für dieses Monitoring sind die Inhaber der Deponie verantwortlich. Die Art der Überwachung hängt auch vom Typ der Deponie ab. Artikel 41 VVEA sieht mindestens zweimal im Jahr Probenahmen und Analysen von Grundwasser und gefasstem Sickerwasser vor, damit aussagefähige Zeitreihen mit Analyseresultaten machbar sind. Das Grundwasser muss untersucht werden, wenn eine Überwachung zum Schutz der Gewässer aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse erforderlich ist. Drei Messstellen für Grundwasser müssen nach Möglichkeit im Abstrombereich der Deponie liegen, eine Messstelle im Oberstrombereich (Art. 41 Abs. 3 VVEA). Auch Entgasungsanlagen bei Deponien müssen regelmässig kontrolliert werden. Zudem sind Deponiegase bis zum Ende der Betriebszeit mindestens zweimal jährlich zu analysieren (Art. 53 Abs. 5 VVEA).

2.3 Einleitung gefassten Deponiesickerwassers

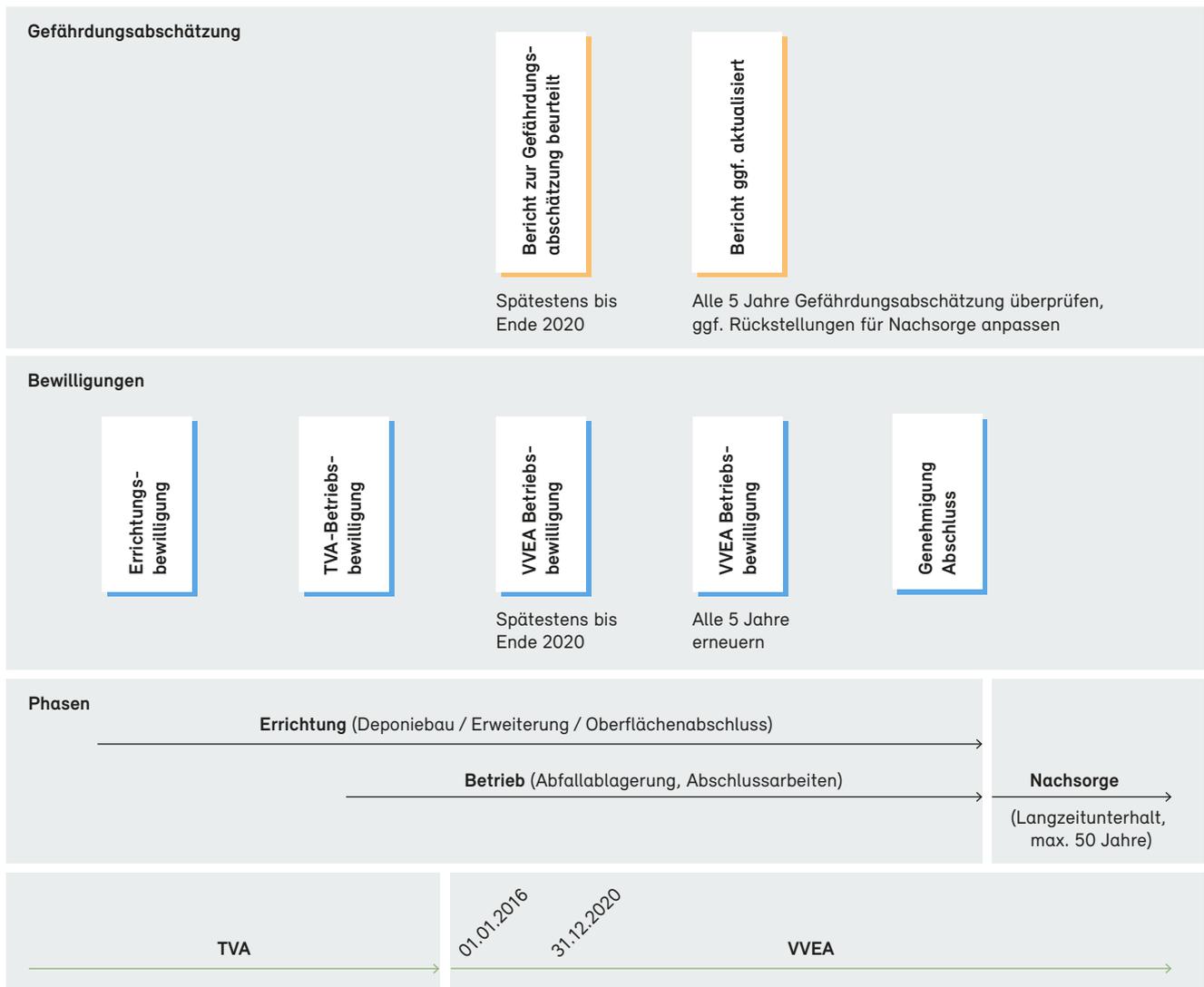
Gemäss Anhang 3.3 Ziffern 1 und 25 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) legt die zuständige Behörde die Anforderungen an die Einleitung von gefasstem Deponiesickerwasser in ein Gewässer oder in eine öffentliche Kanalisation aufgrund der Eigenschaften des Abwassers, des Standes der Technik und des Zustands des Gewässers im Einzelfall fest. Sie berücksichtigt dabei internationale oder nationale Normen, vom BAFU veröffentlichte Richtlinien oder von der Branche in Zusammenarbeit mit dem BAFU erarbeitete Normen. Werden von der zuständigen Behörde keine anderslautenden Vorgaben gemacht, muss das allenfalls gefasste Sickerwasser mindestens die in Anhang 3.3 Ziffer 25 GSchV genannten Anforderungen einhalten.

2.4 Nachsorge

Die Nachsorgephase bedeutet Langzeitüberwachung der Deponie und von deren Umfeld sowie Langzeitunterhalt der Anlagen, welche bei einer gesetzeskonformen Deponie zwecks Verhinderung unkontrollierter Emissionen

Abbildung 2
Zeitliche Phasen einer Deponie

Auf die Errichtungsphase (=Bauphase) und die Betriebsphase mit der Ablagerung der Abfälle und dem Abschluss des Deponiebauwerks folgt die Nachsorgephase. Die Abschlussarbeiten sind Teil der Betriebsphase. Bei Deponien, deren Betriebsphase vor dem 31. Dez. 2020 endet, kann im Rahmen der Genehmigung der Abschlussarbeiten eine Gefährdungsabschätzung sinnvoll sein (Art. 42 Abs. 2 Bst. c VVEA).



erforderlich sind. Während der Nachsorgephase müssen die Inhaber der Deponie gemäss Artikel 43 Absatz 2 VVEA dafür sorgen, dass die Anlagen die gesetzlichen Anforderungen weiterhin einhalten, kontrolliert sowie gewartet werden und dass das Grundwasser – soweit erforderlich –, das gefasste Sickerwasser sowie die Deponiegase überwacht werden.

Auch die Überwachung der Bodenfruchtbarkeit der rekultivierten Deponieoberfläche während fünf Jahren gehört

zu den Nachsorgepflichten. Bei Mängeln müssen entsprechende Massnahmen zur Behebung eingeleitet werden.

Gemäss Artikel 32b USG muss bei Deponien die Deckung der Kosten für Abschluss, Nachsorge und Sanierung durch Rückstellungen, Versicherung oder in anderer Form sichergestellt werden. Ein entsprechender Nachweis ist Voraussetzung für die Erteilung einer Betriebsbewilligung (Art. 40 Abs. 1 Bst. c VVEA).

3 Grundsätzliches zur Gefährdungsabschätzung

3.1 Einordnung

Die Anforderungen der VVEA an den Deponiestandort, an zur Ablagerung zugelassene Abfälle und an kontrollierte Emissionen bezwecken, eine von Deponien ausgehende Umweltgefährdung möglichst zu verhindern. Die Überprüfung der Gefährdungssituation bei allen in Betrieb stehenden Deponien soll aufzeigen, wo dieses Ziel auch längerfristig noch nicht erreicht ist. Mit den von den Inhabern der Deponien gelieferten, auf einer einheitlichen Methode basierend aufgearbeiteten Grundlagen, wird der zuständigen kantonalen Behörde die notwendige Beurteilungsbasis zur Verfügung stehen.

Aufgrund der Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung wird die kantonale Behörde über allenfalls notwendige Massnahmen bei bestehenden Deponien und über deren Weiterbetrieb zu entscheiden haben. Insofern muss die Gefährdungsabschätzung schlüssige Resultate liefern. Es soll beurteilt werden, ob und allenfalls wie aktuell, innert und nach Ende der Nachsorgephase die Gefahr von schädlichen oder lästigen Einwirkungen bedingt durch die Deponie ausgeschlossen werden kann.

In diesem Zusammenhang sind sowohl Kenntnisse über den Zustand und die voraussichtliche Entwicklung des Deponiebauwerks wie auch über die von der Deponie ausgehenden Emissionen relevant. Die Gefährdungsabschätzung als eine differenzierte Bewertung der Umweltgefährdung fokussiert auf die Hauptkriterien Schadstoffpotenzial, Freisetzungspotenzial sowie Bedeutung und Exposition des vorhandenen Schutzguts. Entsprechende Untersuchungen sind in fortschreitender Abklärungstiefe vorzunehmen (Vor-, Haupt- respektive Detailprüfung) – ausgehend von der Deponiedokumentation. Im Anschluss daran folgt die Beurteilung der Untersuchungsergebnisse einerseits in Bezug auf den Gefährdungsgrad und Gefährdungszeitraum andererseits hinsichtlich der Realisierbarkeit einer überschaubaren Nachsorgedauer.

Nach der Nachsorgephase soll der Unterhalt von baulichen Anlagen nicht mehr erforderlich sein, schädliche Einwirkungen auf die Umwelt und die konkrete Gefahr für solche Einwirkungen bleiben trotzdem ausgeschlossen. Denn es soll davon ausgegangen werden können, dass die abgelagerten Abfälle bis Ende der Nachsorgephase durch natürliche Vorgänge (chemische Reaktionen, mikrobieller Abbau, Auswaschung usw.) oder gegebenenfalls durch aktive Massnahmen (Sickerwasserrückführung, Aerobisierung, Dekontamination usw.) in eine Form überführt sind, so dass auch nach der Degradation oder dem Ausfall der technischen Sicherungsmassnahmen keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen, allenfalls auch aufgrund des natürlichen Rückhaltevermögens entlang des weiteren Freisetzungspfades, zu erwarten sind.

3.2 Ziele

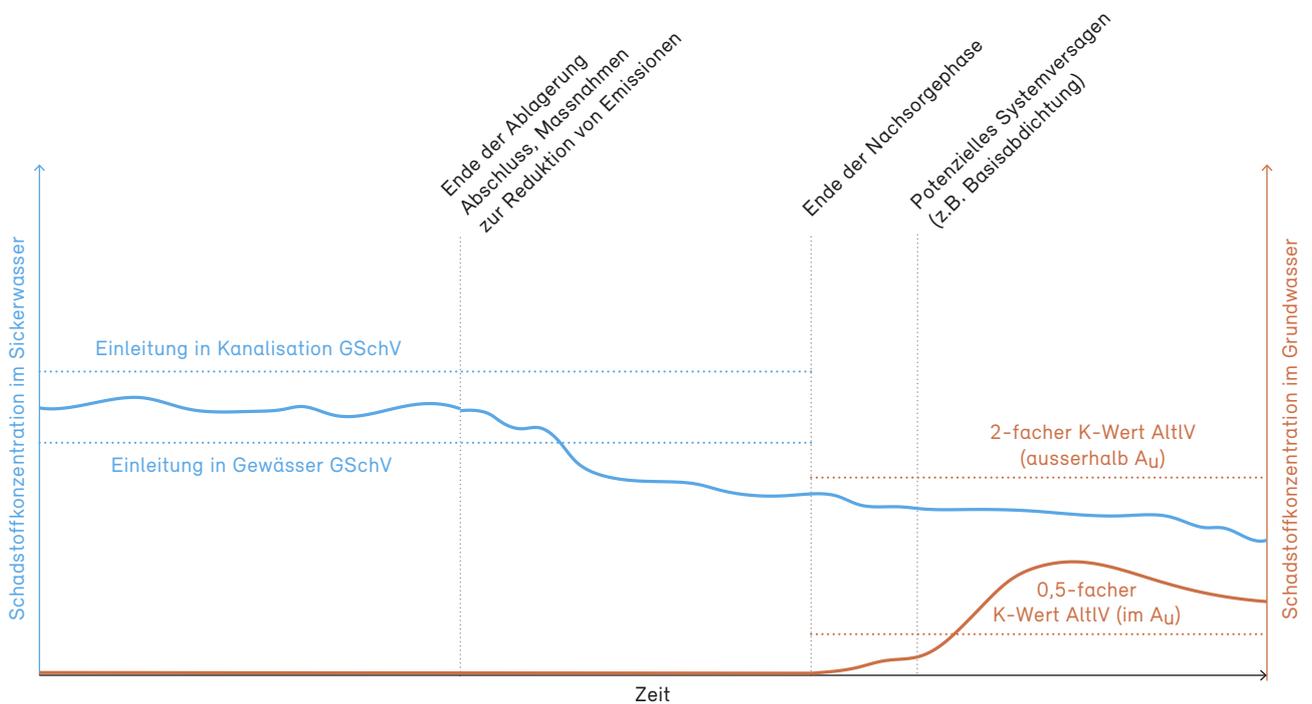
Mit der Gefährdungsabschätzung muss der Behörde eine Beurteilungsgrundlage vorliegen zur Überprüfung, ob die Deponie oder Kompartimente aktuell oder innerhalb von 50 Jahren nach deren Abschluss schädliche oder lästige Einwirkungen auf die Umwelt haben können. Es muss eine Beurteilung des Ist-Zustands und eine nachvollziehbare plausible Prognose vorliegen, welche der zuständigen Behörde folgendes ermöglicht:

- eine Vorhersage über den Zustand der technischen Systeme bis zum Ende der Betriebszeit und danach bei Ende der Nachsorgephase,
- eine Vorhersage über die Entwicklung der Emissionen der Deponie (Ort ihres Auftretens, Menge und Beschaffenheit), und
- eine Beurteilung der Einwirkungen der Emissionen auf die Umwelt (Transformation der schädigenden Stoffe ausserhalb der Deponie, Empfindlichkeit des Deponieumfelds hinsichtlich der Emissionen).

Abbildung 3

Mögliche Belastung des Wasserpfads durch die Deponie (schematisch)

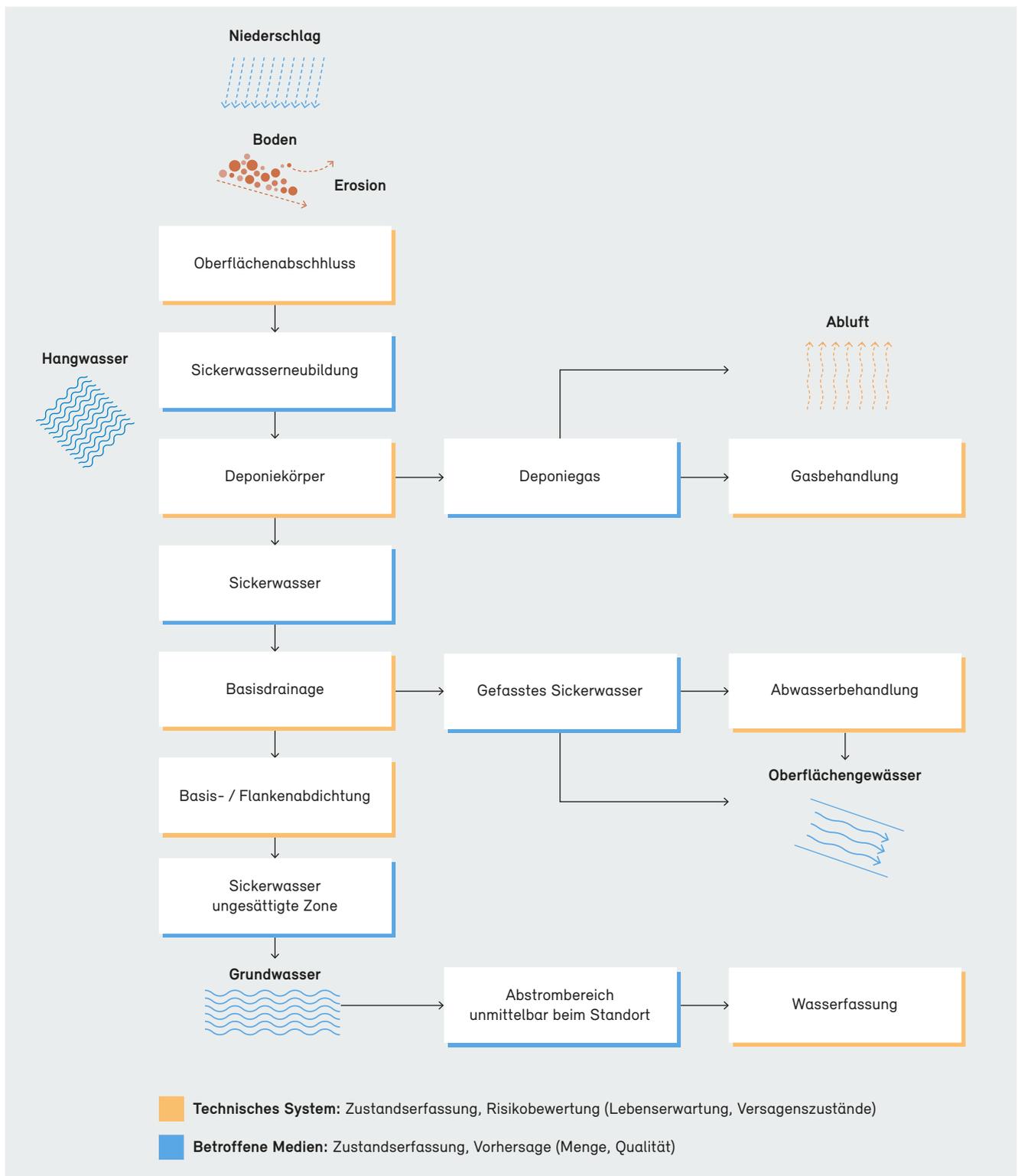
Betriebsphase (Sammlung und kontrollierte Einleitung des belasteten Sickerwassers in Kanalisation), Nachsorgephase (Weiterführung der kontrollierten Einleitung (z. B. bis Mindestdauer Nachsorge) und nachlassende Sickerwasserbelastung), Systemversagen (z. B. punktuellies Entweichen von Sickerwasser ins Grundwasser, ohne dass Konzentrationen von Stoffen, die vom Standort stammen, das Zweifache eines Konzentrationswertes der AltIV (K-Wert¹) überschreiten). A_u = Gewässerschutzbereich, der die nutzbaren unterirdischen Gewässer sowie die zu ihrem Schutz notwendigen Randgebiete umfasst.



Betriebsphase	Nachsorgephase (max. 50 Jahre)	
Mittellorientierte Betrachtung, Emissionsorientierte Beurteilung		Zielorientierte Betrachtung, Immissionsorientierte Beurteilung

1 Für die Beurteilung der Einwirkungen von belasteten Standorten auf die Gewässer legt die Altlasten-Verordnung (AltIV) Konzentrationswerte fest, so genannte K-Werte.

Abbildung 4
Strukturmodell Deponie



3.3 Betrachtungsrahmen

Der Betrachtungsrahmen der Gefährdungsabschätzung basiert auf einem Strukturmodell der wesentlichen Bauteile einer Deponie sowie der damit korrespondierenden Medien, welche die Deponie allenfalls durchströmen oder verlassen, insbesondere über den Wasser- und den Gaspfad.

3.4 Ablauf

Die Gefährdungsabschätzung gliedert sich in drei Stufen, welche sich hinsichtlich Abklärungstiefe unterscheiden und welche nicht zwangsläufig alle durchlaufen werden müssen. Mit diesem Vorgehen kann der Aufwand für die Gefährdungsabschätzung in Grenzen gehalten und gleichwohl eine plausible, verlässliche Beurteilung erreicht werden. Die Untersuchungen der jeweiligen Stufe bauen auf den Ergebnissen der vorangehenden Stufe auf.

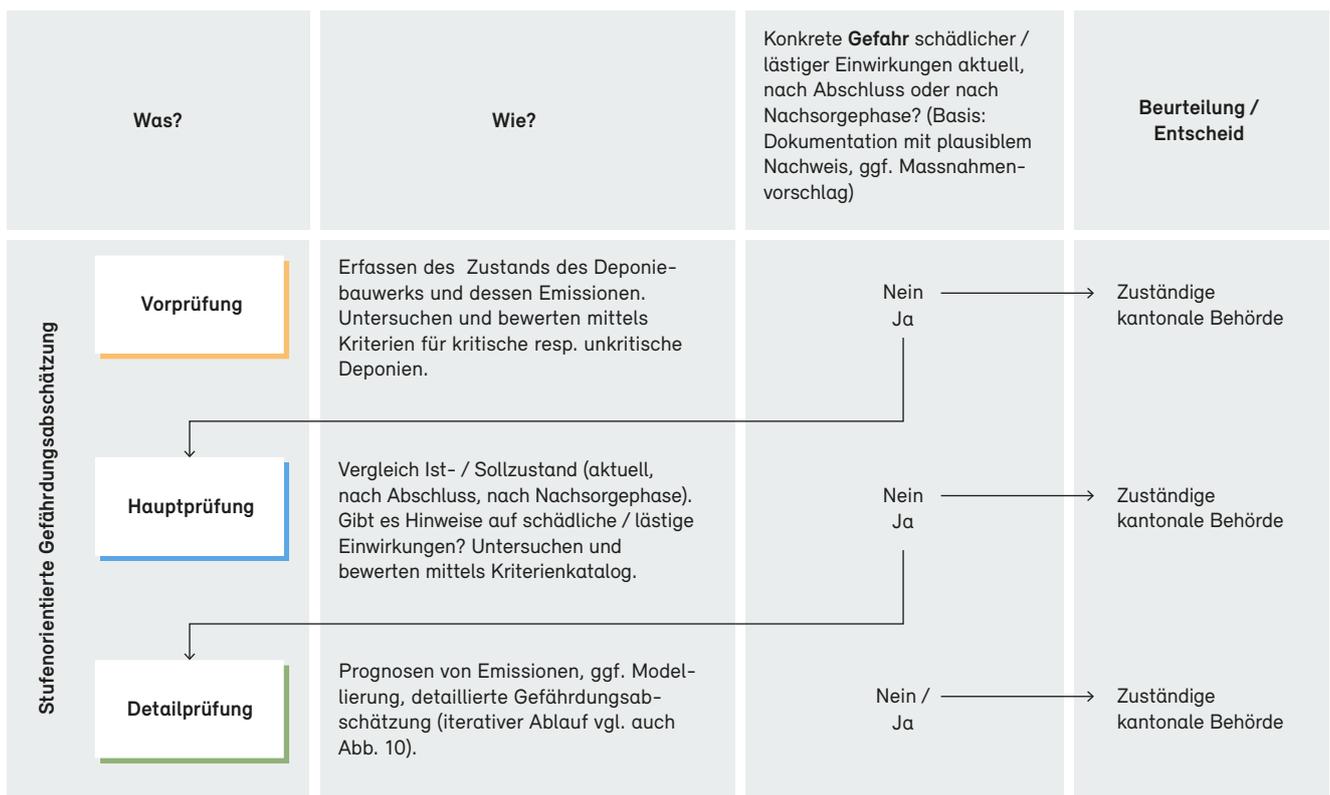
- 1) Bei der Vorprüfung steht die Erfassung des Zustands der Deponie im Zentrum der Abklärungen, um den Standort der Deponie, das Abfallinventar, das technische System und die Emissionen beschreiben und bewerten zu können.

Ziel: Identifizierung nachweislich unkritischer sowie nachweislich kritischer Deponien.

Abbildung 5

Drweistufiges Vorgehen für die Gefährdungsabschätzung

Die Prüfstufen (Untersuchung, Bewertung und plausible Dokumentation) werden grundsätzlich durch Gutachter vorgenommen.



-
- 2) Für die Hauptprüfung sind detailliertere Informationen zum Abfallinventar, zum Standort, zum Aufbau und Zustand der technischen Systeme, zum Wasserhaushalt, zum Umfeld der Deponie und zu den vorhandenen Überwachungsergebnissen auszuwerten. Für die abschliessende Bewertung ist eine Deponiebegehung unerlässlich.

Ziel: *Identifizierung der kritischen Elemente, die aktuell, nach Abschluss oder möglicherweise nach Ende der Nachsorgephase einen umweltverträglichen Zustand in Frage stellen (qualitative und semiquantitative Prüfung).*

- 3) Die Detailprüfung ist eine gutachterliche Arbeit mit vertieften Abklärungen und Prognosen, welche auf semiquantitativen Modellierungen beruhen.

Ziel: *Detaillierte, quantitative Bewertung der in der Hauptprüfung erkannten kritischen Elemente inklusive semiquantitative Prognosen für den Zeitraum nach Ende der Nachsorgephase.*

Die Vorprüfung beinhaltet einerseits Positiv-Kriterien, welche plausibel begründet, kumulativ einzuhalten sind und andererseits Ausschlusskriterien, welche eine Hauptprüfung bei der Deponien nötig machen (vgl. Kap. 4.2).

Abschliessend wird eine stufenorientierte Gesamtbeurteilung der Deponie hinsichtlich der möglichen Umweltgefährdung und der Nachsorgephase erstellt. Für jedes Element des Strukturmodells (Abbildung 4) ist auf der Basis von einfachen, standardisierten Beschreibungen eine Bewertung vorzunehmen.

Die technischen Einzelsysteme werden in der Detailprüfung – falls die Deponie nicht bereits durch die Vor- oder Hauptprüfung bewertet werden konnte – hinsichtlich ihrer Versagenswahrscheinlichkeit sowie hinsichtlich der Auswirkungen dieses Versagens bewertet, die Medien hinsichtlich der zu erwartenden Entwicklung ihrer Menge und ihrer Eigenschaften (Schadstoffbelastung usw.).

4 Stufen der Gefährdungsabschätzung

4.1 Erforderliche Ausgangsinformationen

Für die Bearbeitung der drei Prüfstufen sind jeweils unterschiedliche Informationen erforderlich, wobei Umfang und Detailierungsgrad der Informationsgrundlage mit den einzelnen Prüfschritten zunehmen. Anhang A-1 zeigt die insbesondere aufgrund von Pflichten gemäss der seinerzeitigen Technischen Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990 (TVA) grundsätzlich vorhandenen Basisinformationen auf, welche für die Vorprüfung, also für die Differenzierung zwischen unkritischen und kritischen Fällen, benötigt werden.

Eine zentrale Grundlage für die Durchführung der Gefährdungsabschätzung ist solide Kenntnis über die Deponie mit ihren räumlichen Randbedingungen (Standort, Klima, (Hydro-)Geologie, Nutzungen im Umfeld usw.) sowie dem Abfallinventar, den deponietechnischen Einrichtungen und der Organisation des Deponiebetriebs. Hinsichtlich der technischen Gestaltung der Deponie nach Abschluss des Ablagerungsbetriebs müssen konkrete Vorstellungen vorliegen.

Wesentlich sind weiter die bisherigen Ergebnisse der Untersuchungen des allenfalls gefassten Sickerwassers (Anhänge A-2 und A-4), des Deponiegases, des Grundwassers sowie der Emissionen im Umfeld der Deponie.

Mit den Vorgaben für Überwachungsprogramme gemäss Anhang A-2 kann sichergestellt werden, dass für die unterschiedlichen Deponietypen einheitliche und vergleichbare Datengrundlagen verfügbar sind. Ausreichende, darauf aufbauende Untersuchungen/Messungen (mit Vorteil mind. 6 Messreihen) sind bis zur Einreichung der Untersuchungsunterlagen durchzuführen und vorzulegen.

Liegen unterschiedliche Informationsqualitäten vor, sind diese bei der Bewertung der Datengrundlagen zu berücksichtigen:

- *Vollständige Datengrundlagen: grosse Aussagesicherheit,*
- *Lückenhafte Datengrundlagen: mittlere Aussagesicherheit,*
- *Unvollständige Datengrundlagen: geringe Aussagesicherheit.*

4.2 Vorprüfung

Es ist davon auszugehen, dass Deponien respektive Kompartimente die Anforderungen der seinerzeitigen TVA an Standort, erforderliche Anlagen wie Abdichtung, Entwässerung, Entgasung und an den Abschluss einhalten, wenn sie nach dem 1. Februar 1996 errichtet wurden respektive nach diesem Datum weiterbetrieben werden durften.²

Unkritisch sind Deponien bzw. Kompartimente, welche mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit heute und innerhalb von 50 Jahren nach dem Deponieabschluss keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt haben.

Der Deponietyp A ist vom Abfallinventar her grundsätzlich ein unkritischer Fall. Solche Deponien müssen jedoch die unten aufgelisteten Kriterien ebenfalls kumulativ erfüllen (kritisch könnten bei Hangdeponien die Deponiekörperstabilität bzw. die Stabilität des Baugrundes sein). Ergibt sich bei einer Deponie des Typs A die Notwendigkeit einer Hauptprüfung, so sind die in Anhang A-3.1 aufgeführten Kriterien selektiv zu berücksichtigen – entsprechend der gemäss VVEA geringeren Anforderungen an den Typ A im Vergleich mit Typ B.

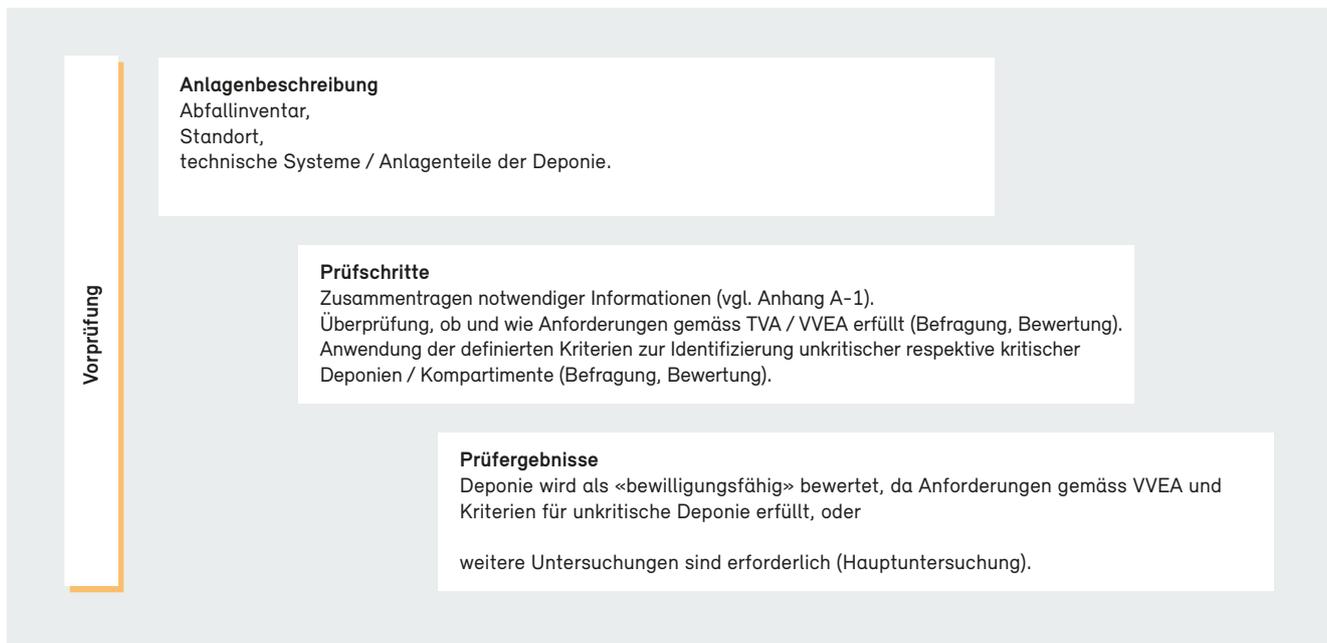
Folgende Kriterien sprechen für das Vorliegen eines unkritischen Falls. Die Kriterien sind kumulativ zu erfüllen, sie beziehen sich auf Deponien respektive auf Kompartimente.

- *Der Deponieinhalt ist und bleibt chemisch/biologisch stabil (nachweislich < 5 % brennbare und/oder biologisch abbaubare Abfälle abgelagert).*
- *Im Deponieperimeter sowie im unmittelbaren und weiteren Abstrombereich bis 2000 Meter³ befinden sich keine Grundwasserfassung öffentlichen Interesses sowie keine*

² Vgl. Artikel 52 TVA vom 10. Dezember 1990 (Stand am 1. April 1996); Weiterbetrieb bestehender Deponien.

³ Abschätzung: Die K-Werte nach AltIV der mobilsten Schadstoffe (Vertreter der LCKW, BTEX und MTBE) bewegen sich im zweistelligen µg/l-Bereich und die Bestimmungsgrenze liegt bei 0.1 µg/l. Falls solche Verbindungen eines belasteten Standortes in einer Grundwasserfassung öffentlichen Interesses nachgewiesen werden, besteht Sanierungsbedarf. Es lässt sich ein Verdünnungsfaktor von 100 approximieren, für eine derartige Verdünnung ist eine Distanz zur Grundwasserfassung von rund 2000 m erforderlich.

Abbildung 6
Ablauf der Vorprüfung



- *zusammenhängende nutzbare Grundwasservorkommen (Letzteres gilt nicht für Deponien des Typs A).*
- *Die Belastung des Sickerwassers erfüllt bereits während dem Deponiebetrieb die Anforderungen an die Einleitung in Gewässer gemäss GSchV.*
- *Die Deponie erzeugt keine gasförmigen Emissionen (keine Anhaltspunkte von Gasentwicklung erkennbar).*
- *Der Baugrund und der Deponiekörper sind nachweislich stabil.*

Ist eines der nachfolgenden Ausschluss-Kriterien erfüllt, so ist ein unkritischer Fall grundsätzlich auszuschliessen. Folglich muss eine Hauptprüfung durchgeführt werden. Die Ausschluss-Kriterien beziehen sich auf Deponien respektive auf Kompartimente.

- *Die Deponie enthält Abfälle, welche vor 1990 eingelagert worden sind.*
- *Die Deponie enthält mehr als 5 % brennbare bzw. biologisch abbaubare Abfälle.*
- *Es handelt sich um eine Reaktordeponie, ein Reaktor- oder ein Schlackekompartiment gemäss TVA (d. h. aus der TVA-Epoche), welche(s) keine Basis- oder Flankenabdichtung, kein oder nur ein rudimentäres Entwässerungssystem aufweist.*

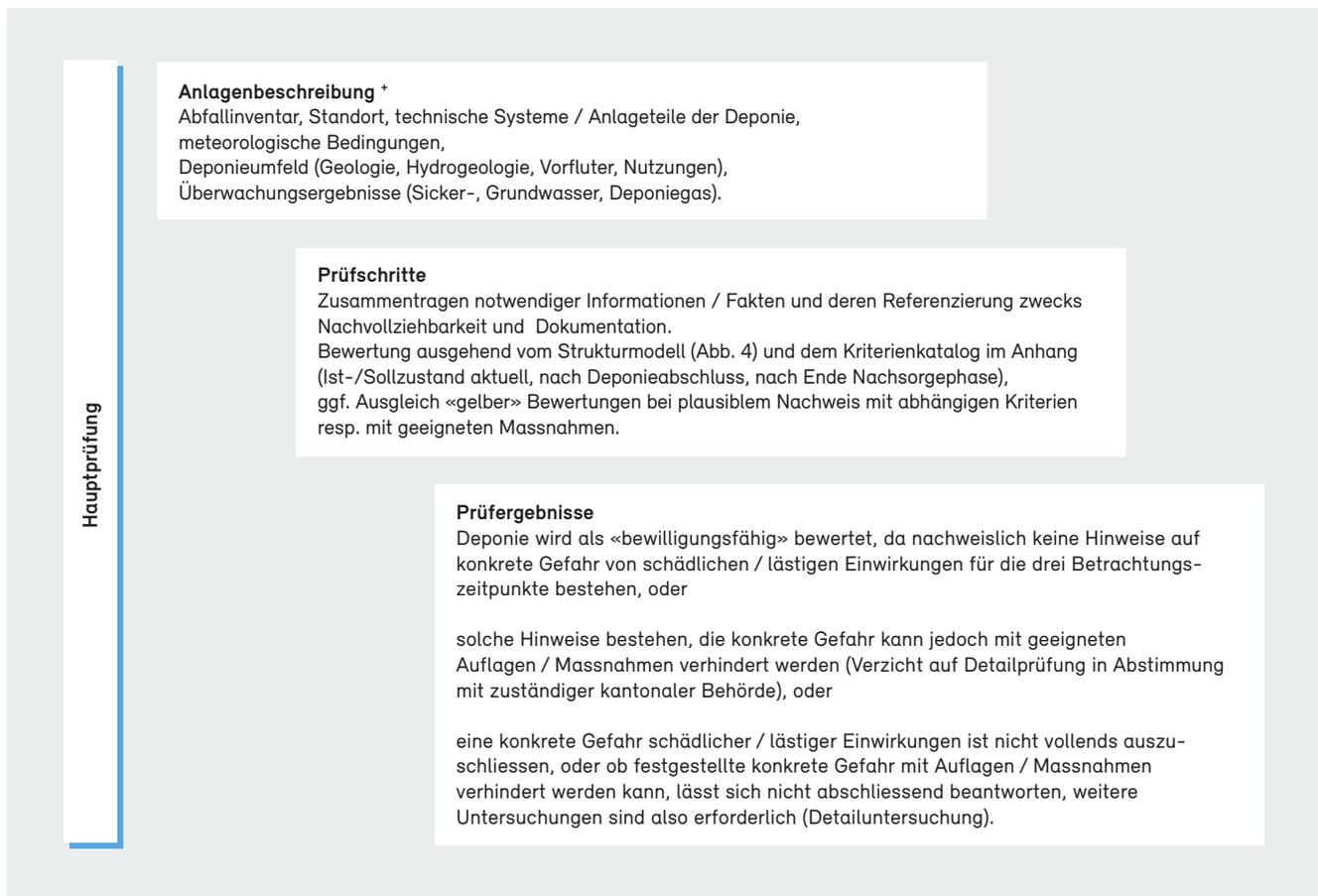
- *Die Deponie befindet sich in einem Naturgefahrengebiet (Rutschungen, Murgänge, Steinschlag, Hochwasser).*
- *Der Grundwasserhöchststand liegt weniger als 2 m unter der Deponiesohle.*
- *Die Deponie befindet sich im Karst oder im stark geklüfteten Fels.*
- *Baugrund oder Deponiekörper sind instabil.*

4.3 Hauptprüfung

In der Hauptprüfung werden zusätzlich zur Vorprüfung weitere Aspekte der Deponie, des Sickerwassers und der Einwirkungen auf die Umwelt bewertet. Falls sich in Anwendung der Kriterien gemäss Anhängen A-3.1/A-3.2 Hinweise auf Umwelteinwirkungen ergeben, erfolgt eine Bewertung «gelb» (zu diskutieren), andernfalls ist die Bewertung «grün» (positiv). Das Vorgehen ist in Anhang A-3 weiter erläutert.

Aufgrund eines mit «gelb» bewerteten Kriteriums muss nicht zwingend eine Gefährdung von Schutzgut resultieren. Kriterien mit einer Bewertung «gelb» können in

Abbildung 7
Ablauf der Hauptprüfung



Kombination mit «grün» bewerteten unter nachvollziehbarer, durch die Fachperson belegter Begründung diskutiert werden. Wenn eine Bewertung «gelb» nicht plausibel durch andere Kriterien oder gezielte Massnahmen entschärft und eine konkrete Gefahr schädlicher / lästiger Einwirkungen durch die Deponie nicht ausgeschlossen werden kann, ist eine Detailprüfung durchzuführen. Hohe Relevanz weisen die mit Sternen versehenen, rot beschrifteten Kriterien auf (vgl. Anhänge A-3.1/A-3.2). Deren Bewertung erfordert die besondere Aufmerksamkeit der Gutachter und der Behörden in Hinblick einer effektiven Gewährleistung der Qualität der ganzen Gefährdungsabschätzung.

Basierend auf den identifizierten Problembereichen der Deponie, auf den Resultaten der Emissionsmessungen und gegebenenfalls auf den Emissionsprognosen können

Auflagen sowie Massnahmen zur Reduktion respektive zur Vermeidung von Emissionen vorgeschlagen werden.

Wichtige Kriterien der Hauptprüfung betreffen die Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser sowie im Grundwasserabstrom der Deponie. Die Konzentrationen sind mit repräsentativen Probenahmen und anschliessend durch chemische Analysen zu ermitteln. Gemessene Schadstoffkonzentrationen werden im Rahmen der Hauptprüfung anhand numerischer Kriterien bewertet. Diese numerischen Bewertungskriterien ergeben sich in erster Linie durch die Anforderungen nach GSchV und AltIV sowie entsprechenden Vollzugshilfen. Sie sind risikobasiert und für gewisse Parameter begründet angepasst worden, um sie als sinnvolle Triage-Kriterien hinsichtlich des Untersuchungsumfangs für die Betrachtungszustände (Ist-Zustand, nach Deponieabschluss,

nach Ende Nachsorgephase) verwenden zu können (vgl. Anhang A-4: Kriterien, Verweise und Grundlagen).

Wenn die vollständige Hauptprüfung bei allen Kriterien eine Bewertung «grün» ergibt, kann grundsätzlich von einer «bewilligungsfähigen» Deponie ausgegangen werden. Wenn die Hauptprüfung «gelb» bewertete Kriterien ergibt, welche jedoch durch abhängige «grüne» Kriterien oder geeignete Massnahmen nachweisbar und plausibel entschärft werden können, kann in Abstimmung mit der kantonalen Behörde allenfalls auf eine Detailprüfung verzichtet werden. Unter Umständen legt die Behörde in diesem Fall spezifische Auflagen für den Weiterbetrieb der Deponie fest.

Falls aus der Hauptprüfung Kriterien mit nicht «entschärfbarer» respektive nicht kompensierbarer Bewertung «gelb» verbleiben, können von der Deponie ausgehende

Umwelteinwirkungen zum aktuellen oder zu einem späteren Zeitpunkt nicht ausgeschlossen werden. Die Deponie ist in diesem Fall nicht oder nur mit Sanierungsauflagen bewilligungsfähig, dabei gilt den dominanten, rot sowie mit Stern markierten Kriterien besondere Beachtung. Gegebenenfalls notwendige, vertiefte Abklärungen und die abschliessende Bewertung erfolgen im Rahmen der Detailprüfung.

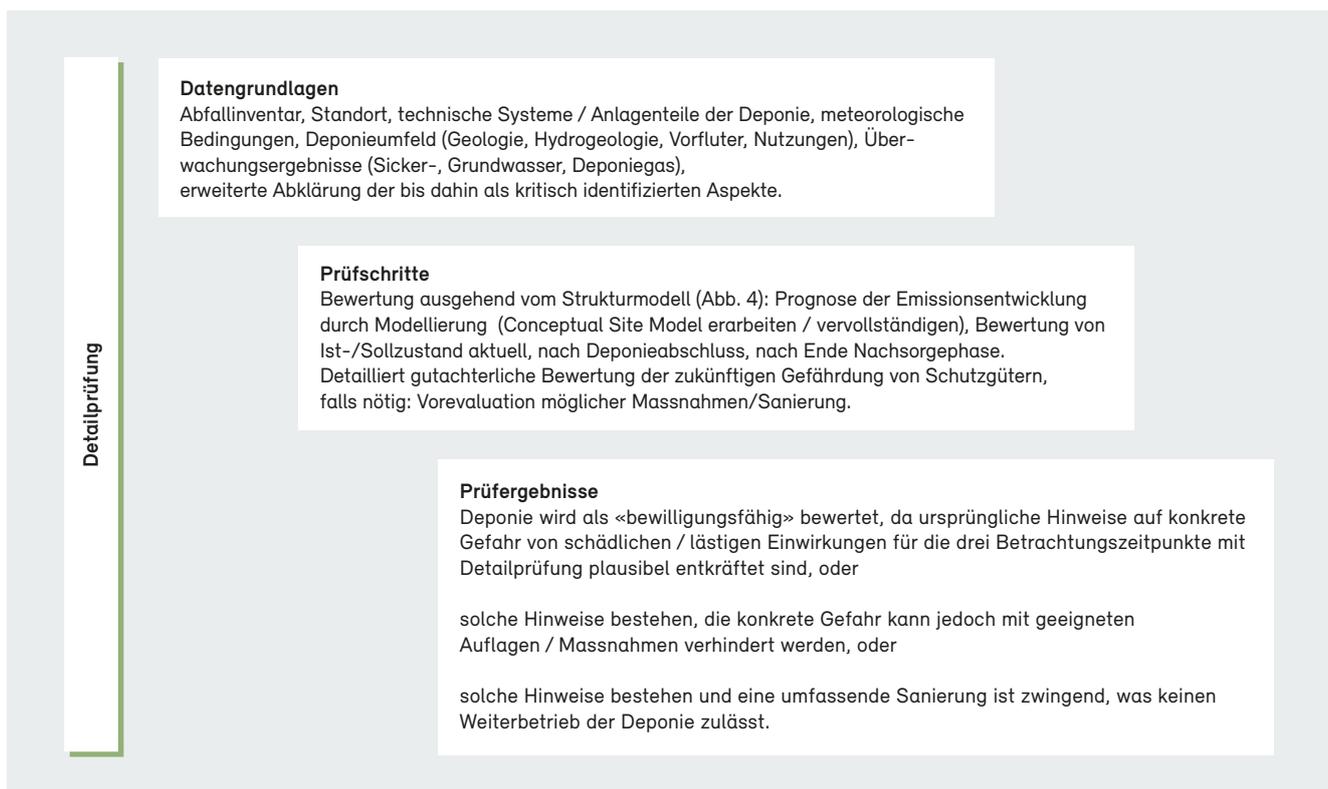
4.4 Detailprüfung

Das Ziel der Gefährdungsabschätzung auf Stufe der Detailprüfung ist eine Prognose der Entwicklung der Emissionen der Deponie für verschiedene Zustände in der Zukunft (Eigenschaft, Quantität, Ort des Auftretens, zeitliche Entwicklung).

Abbildung 8

Ablauf der Detailprüfung

Es sind die in der Hauptprüfung hinsichtlich Gefährdung als kritisch beurteilten Aspekte zu vertiefen und dazu weitere Abklärungen vorzunehmen – ggf. kompartimentweise Betrachtung.



Deponien sind komplexe Systeme, welche auch meist ein sehr heterogenes Abfallinventar aufweisen. Je nach Beschaffenheit der Abfälle ist mit präferenziellen Fließpfaden des Deponiesickerwassers zu rechnen. Auch aus diesem Grund ist es kaum möglich, präzise Prognosen über die Entwicklung dessen Schadstoffbelastung zu machen. Vielmehr geht es um eine Abschätzung, ob es unter bestimmten Entwicklungen des Gesamtsystems Deponie realistisch ist, dass nach der Nachsorgephase keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu erwarten sind. Die Prognose des Deponieverhaltens in der Zukunft verlangt das Definieren möglicher Szenarien, z. B. die Versagenswahrscheinlichkeit von technischen Systemen und insbesondere die Vorhersage der damit verbundenen Konsequenzen auf allenfalls betroffenes Schutzgut.

Aufbau der Gefährdungsabschätzung – Stufe Detailprüfung

Abbildung 9 zeigt ein mögliches Vorgehen bei der Detailprüfung einer Deponie auf. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass jede Deponie als Einzelfall zu betrachten ist. Der Gutachter stellt ein sinnvolles konzeptionelles Standortmodell («Conceptual Site Model»⁴) auf, identifiziert die relevanten Prozesse und schätzt mit sinnvollen Annahmen und Szenarien (Risikoereignisse) das Gefährdungspotenzial innerhalb der Nachsorgephase und nach deren Ende ab.

Es sind auch Fälle möglich, bei welchen Emissionen ins Schutzgut eine untergeordnete Rolle spielen, aber bspw. Fragen zur langfristigen Stabilität des Deponiekörpers zentral sind.

Die Gefährdungsabschätzung im engeren Sinne basiert auf den nachfolgend erläuterten Schritten, wobei die Systemkomponenten zumindest teilweise bereits in der vorangehenden Hauptprüfung betrachtet werden.

Schadstoffpotenzial und Leitparameter

In diesem Schritt sind das Schadstoffpotenzial und die emissionsrelevanten Eigenschaften des Deponiekörpers zu bewerten:

- Erstellen des Abfallinventars nach Kompartimenten, basierend auf vorhandenen Informationen,
- Auswahl der Leitparameter basierend auf den vorhandenen Sickerwasseranalysen oder falls nicht vorhanden aus dem Abfallinventar,
- Abschätzung des Restanteils an biologisch abbaubaren Organika.

Technische Beurteilung der Systemkomponenten

Die Systemkomponenten werden bereits sowohl in der Vorprüfung (Anhang A-1 Vorprüfung Basisdaten) als auch in der Hauptprüfung (Anhänge A-2, A-3 und A-4) in die Bewertung integriert. In der Detailprüfung werden zusätzlich die Versagenswahrscheinlichkeiten der Komponenten quantifiziert. Daraus werden mögliche Szenarien (Risikoereignisse) für den quantitativen und zeitlichen Anfall von Sickerwasser bzw. von Sickerwasserverlusten entwickelt.

Emissionsprognose

In diesem Arbeitsschritt wird die zeitliche Entwicklung der Sickerwasserkonzentrationen der Leitparameter unter den definierten Szenarien prognostiziert (vgl. Abbildung 9). Dabei sind unter gleichbleibenden Systembedingungen (Menge Sickerwasser, pH, etc.) Trendextrapolationen basierend auf den vorliegenden Sickerwasserdaten möglich. Bei variablen Systembedingungen oder Datenmangel muss auf andere Modellansätze zurückgegriffen werden.

Die Sickerwasser- und Grundwasseranalysen liefern weitere Hinweise auf relevante Schadstoffe und deren Freisetzungspotenzial.

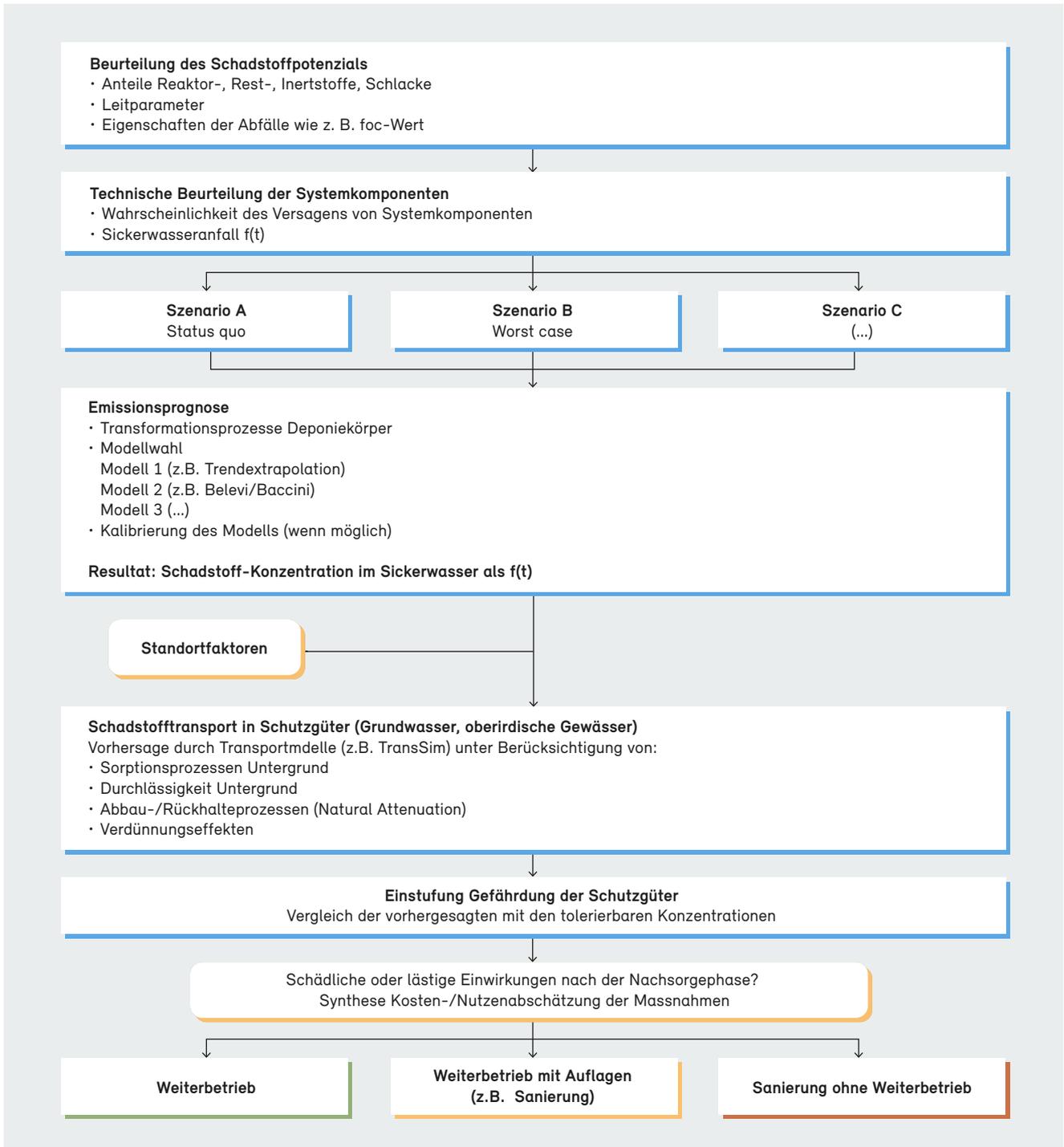
Schadstofftransport

Der Transportprozess von Deponiesickerwasser ins Schutzgut hängt stark von der (hydro)geologischen Situation vor Ort bzw. im Falle einer Einleitung in einen Vorfluter von dessen Beschaffenheit ab (Verdünnungseffekte). Bis zum Erreichen des Schutzgutes sind Natural Attenuation⁵ Prozesse möglich (z. B. Sorption / Abbau in der ungesättigten Zone), welche die Schadstoffemissionen ins Schutzgut reduzieren.

⁴ Ein «Conceptual Site Model» ist dynamisch und seine Entwicklung iterativ. Es basiert auf den fortschreitenden Untersuchungsergebnissen, unterstützt die Priorisierung von Untersuchungen und ermöglicht das Fokussieren auf Medien und Ausbreitungspfade, welche als wesentlich für Risiken und Gefährdung erscheinen (vgl. www.epa.gov).

⁵ Bezeichnung für natürlicherweise im Untergrund ablaufende Abbau- und Rückhalteprozesse, welche die Ausbreitung von Schadstoffen verlangsamen und vermindern können.

Abbildung 9
 Vorgehen Gefährdungsabschätzung auf Stufe Detailprüfung (iterativer Ablauf)



Einordnung der Gefährdung

Die berechneten Schadstoffkonzentrationen (als Funktion der Zeit) im Schutzgut werden mit tolerierbaren Umweltkonzentrationen verglichen.

Gesamtbewertung

Die Gefährdungsabschätzung zeigt auf, ob während dem Weiterbetrieb, nach Deponieabschluss und nach der Nachsorgephase mit schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt zu rechnen ist oder nicht. Ausgehend vom Fazit der Gefährdungsabschätzung wird über den Weiterbetrieb entschieden. Basierend auf den identifizierten Problembereichen der Deponie und den Resultaten der Emissionsprognosen werden Massnahmen zur Reduktion respektive Vermeidung von Emissionen vorgeschlagen. Die zum Vorschlag kommenden Massnahmen halten einer Kosten-/Nutzenbetrachtung stand, welche auch die finanzielle Tragweite von Risikoereignissen mit deren Eintretenswahrscheinlichkeit berücksichtigt. Weitergehende Erläuterungen sind in Anhang A-5 Detailprüfung zu finden.

5 Überwachung von Sicker- und Grundwasser

5.1 Ziele der Überwachung

Mit der gemäss VVEA verlangten Überwachung des Grundwassers und des gefassten Sickerwassers einer Deponie wird festgestellt, ob heute von der Deponie schädliche Einwirkungen auf die Umwelt ausgehen. In der Gefährdungsabschätzung nach vorliegendem Konzept soll auch ermittelt werden, welche Emissionen in und nach der Nachsorgephase in Grund- und Oberflächenwasser zu erwarten sind und ob dadurch eine Gefährdung besteht. Es ist somit nicht nur die aktuelle Situation relevant. Die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung entscheiden über den Weiterbetrieb der Deponie. Es ist daher – auch im Sinne des Deponiebetreibers – sicherzustellen, dass für diese Untersuchungen ein Monitoring mit repräsentativen Daten über einen ausreichend langen Zeitraum zur Verfügung steht. Dazu sind die bestehenden Überwachungsdaten – falls nötig – mit zusätzlichen Messungen zu ergänzen.

Der Gutachter legt der kantonalen Fachstelle vor Beginn einer Überwachungsperiode ein Monitoringprogramm vor – unter Berücksichtigung der einschlägigen Anforderungen an die Überwachung des entsprechenden Deponietyps. Er schlägt darin die Lage und den Ausbau der Messstellen, die Dauer der Überwachung, die Anzahl Beprobungen sowie die zu analysierenden Parameter vor. Dabei sind grundsätzlich die Parameter gemäss Anhang A-2 zu berücksichtigen. Die kantonale Fachstelle legt die Zielsetzungen des Monitorings fest. In bestehenden, normalerweise mit der Betriebsbewilligung festgelegten Monitorings sind diese Vorgaben zu berücksichtigen.

5.2 Durchführung der Messungen

5.2.1 Messstellen

Es ist festzustellen, ob das Deponiesickerwasser der beprobten Messstelle jeweils ein Kompartiment repräsentiert oder ob es einem Mischwasser verschiedener Kompartimente entspricht.

Piezometer-Messstellen zur Beprobung des Grundwassers sollten sich im «unmittelbaren Abstrom» der Deponie gemäss der Vollzugshilfe Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten [13] befinden. Zudem ist mindestens ein Piezometer im Oberstrom gefordert.

Falls im unmittelbaren Abstrom der Deponie kein fassbares Grundwasser vorliegt, ist ein möglicher Einfluss der Deponie auf die Qualität des Grundwassers im weiteren Abstrom zu überprüfen.

Wenn möglich – soll auch Reinabwasser (um Deponie herum gefasstes und abgeleitetes Grund-, Sickerwasser) beprobt werden. Dadurch können ungewollte Schadstoffübertritte von belasteten Abwässern ins Sauberwassersystem der Deponie frühzeitig erkannt werden.

5.2.2 Messintervalle

Die massgebenden Parameter gemäss Anhang A-2 Deponiemonitoring sind in der Regel im Sickerwasser und, falls vorhanden, im Grundwasser im Umfeld der Deponie während mindestens 3 Jahren und mindestens zweimal pro Jahr zu messen. Bestehende Zeitreihen können dabei berücksichtigt werden.

Bei Parametern, für welche keine lange Zeitreihe verlangt wird (PCB, PAK, etc.) genügen 2 bis 3 Messungen im Abstand von je einem Jahr.

Es sind Messungen bei unterschiedlichem Sickerwasseranfall, z. B. nach Niederschlagsereignissen und nach längeren Trockenperioden erforderlich. Die meteorologischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Probenahme sind im Probenahmeprotokoll festzuhalten. Die Grundwasserprobenahmen sollen die saisonal unterschiedlichen Grundwasserverhältnisse abbilden. Mit diesen Vorgaben dauert ein Deponiemonitoring für eine Gefährdungsabschätzung in der Regel 3 bis 4 Jahre. Selbstverständlich sind bereits bestehende Zeitreihen mitzuberechnen.

5.2.3 Probenahme, Analytik, Schüttungsmessungen

Bei der Probenahme von Sicker- und Grundwasserproben gelten grundsätzlich die Anforderungen der Vollzugshilfe Probenahme von Grundwasserproben bei belasteten Standorten [13]. Während der Probenahme sind die Feldparameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Sauerstoffgehalt mit kalibrierten Instrumenten zu messen.

Bei trüben Wasserproben darf durch die Filtration kein Schadstoffverlust auftreten. Bei trüben Proben (Trübung > 5 FNU⁶) ist daher zusätzlich zu den nach den Vorgaben der Vollzugshilfe filtrierten Wasserproben [7] der Gesamtgehalt einer unfiltrierten Probe zu bestimmen.

Die Schüttungsmenge bzw. der Abfluss des Deponiesickerwassers ist an den entsprechenden Messstellen mindestens bei der Probenahme zu messen, um Frachtberechnungen durchzuführen.

Für die Bewertung des Deponieverhaltens und der Konzentrationsverläufe sind die Frachten und deren Trends zu ermitteln.

5.3 Auswertung von Messresultaten – in der Hauptprüfung

5.3.1 Datenaufbereitung

Das nach Kapitel 4.2 komplettierte Analysedatenset zu Deponiesickerwasser und Grundwasser bildet die Basis der Gefährdungsabschätzung. Im ersten Schritt sind diese Daten aufzuarbeiten: Neben der Erfassung des heutigen Zustands der Deponie erlauben die langjährigen Datenreihen Trendanalysen bezüglich der Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen in der Zukunft.

Analysedaten aus Sicker- und Grundwasser können je nach Deponie stark in ihrer Qualität und Quantität variieren. Für robuste Aussagen ist somit eine solide statistische Auswertung der Daten erforderlich. Dazu werden in Anhang A-6 einige statistische Tools vorgestellt.

5.3.2 Dateninterpretation

Zur Bewertung der gemäss Anhang A-6 aufbereiteten Schadstoffdaten und Trendextrapolationen stehen mit Anhang A-4 numerische Kriterien für Deponiesickerwasser und Grundwasser zur Verfügung. Werden diese Orientierungswerte überschritten, dann ist zwar im Fall einer unkontrollierten Emission nicht zwingend mit einer Gefährdung von Schutzgut zu rechnen. Die Tragweite solcher Überschreitungen ist jedoch im Kontext mit weiteren deponiespezifischen Eigenschaften seitens Gutachter fundiert abzuklären.

Nachfolgend werden die Überlegungen bezüglich der Festlegung der numerischen Kriterien kurz erläutert.

Deponiesickerwasser

Grundsätzlich übernimmt das vorliegende Konzept im Anhang A-4 die Anforderungen an die Einleitung von Deponiesickerwässer gemäss GSchV (Anh. 3.2 Ziff. 2 und Anh. 3.3 Ziff. 25 GSchV) als Kriterium für die Bewertung des Deponiesickerwassers. Für Schadstoffe, für welche die GSchV keine numerischen Werte definiert, sieht das Konzept als Triage-Kriterium den 10-fachen K-Wert⁷ nach AltIV vor. Dies wird wie folgt begründet:

- Deponiesickerwasser kann durch ein mögliches Versagen der Basisabdichtung ins Grundwasser gelangen. An einem für vorliegendes Konzept entwickelten Modell-Deponiestandort wird austretendes Sickerwasser im Grundwasser im Bereich der Deponie mit ca. Faktor 5-15 verdünnt. Da gemäss den Herleitungsgrundsätzen K-Werte nach AltIV einem humantoxikologisch begründeten Trinkwasserwert entsprechen, kann somit die Anforderung ans Grundwasser im unmittelbaren Abstrom der Deponie grundsätzlich mit einem 10-fachen K-Wert im Sickerwasser eingehalten werden. In der Hauptprüfung hat der Gutachter die Aufgabe, die real am Standort vorherrschenden Bedingungen zu berücksichtigen.
- Auch wenn aktuell das Deponiesickerwasser durch eine Abwasserbehandlungsanlage gereinigt wird, muss damit gerechnet werden, dass nach Beendigung der Nachsorgephase das Sickerwasser ohne Behandlung in ein Oberflächengewässer einzuleiten ist. Bei einem

⁶ FNU = *Formazine Nephelometric Units*. Um Trübungen vergleichbar messen zu können, bedient man sich der Trübungsstandardflüssigkeit *Formazin*.

⁷ Für die Beurteilung der Einwirkungen von belasteten Standorten auf die Gewässer legt die Altlasten-Verordnung (AltIV) Konzentrationswerte fest, so genannte K-Werte.

minimalen Verdünnungsfaktor zwischen Sickerwasser und Vorfluter von einem Faktor 10 kann im Vorfluter grundsätzlich Trinkwasserqualität gewährleistet werden; für viele Vorfluter ist ein Verdünnungsfaktor von 10 ein konservativer Wert. Der Gutachter hat die Aufgabe, effektive Frachten mit effektiven Abflüssen im relevanten Vorfluter zu vergleichen.

In Oberflächengewässern ist insbesondere auch der Schutz der aquatischen Lebensgemeinschaft relevant. Zusätzlich werden deshalb für die Summe chlorierter und nicht-chlorierter Kohlenwasserstoffe Maximalwerte definiert (vgl. Anhang A-4). Der 10-fache K-Wert als Bewertungskriterium gilt ferner nicht für Pestizide (insbesondere Herbizide) und deren relevanten Metaboliten.

Bei geringer Verdünnung von Sickerwasser im Vorfluter obliegt dem Gutachter die Pflicht, die Gefährdung von aquatischen Organismen entsprechend abzuklären.

Grundwasser

Im Grundwasser gelten als numerisches Kriterium der Hauptprüfung in der Regel 10% des K-Wertes nach AltIV. Bei anorganischen Ionen wie Chlorid oder Sulfat wird der halbe Indikatorwert der Wegleitung Grundwasserschutz [14] als Bewertungsgrundlage verwendet (vgl. Anhang A-4). Diese Verbindungen geringer Toxizität dienen dazu, den Einfluss der Deponie auf das Grundwasser zu bewerten. Bei intakten Basisabdichtungen darf die Deponie im Grundwasser grundsätzlich nicht registrierbar sein.

Deponien der Typen A und B bedürfen keiner Basisabdichtung gemäss VVEA. In der Regel findet sich an der Basis von Deponien des Typs B eine ergänzte geologische Barriere oder eine Stauerschicht. Relevant sind bei der Einordnung von Grundwassermesswerten bei diesen Deponietypen die Anforderungen an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist (Anh. 2 Ziff. 22 GSchV) sowie die Indikatorwerte für die Grundwasserqualität nach [14].

6 Qualitätssicherung

Die Gefährdungsabschätzungen im Rahmen der Vor-, Haupt- und Detailprüfung erfordern einerseits eine objektive und unabhängige Sicht auf den baulichen Zustand und auf die tatsächlichen und prognostizierten Umwelteinwirkungen. Andererseits bedeuten langjährige Auftragsverhältnisse zwischen Deponiebetreiber und Gutachter, dass der Gutachter über wertvolle Detailkenntnisse zu den örtlichen Verhältnissen und einen wichtigen Zugang zu den Datengrundlagen der Deponie verfügt.

Mit Qualitätssicherungsmaßnahmen muss sichergestellt werden, dass:

- *die gutachterliche Gefährdungsabschätzung den **fachlichen und formellen Anforderungen genügt**;*
- *die Bewertungen **objektiv, nachvollziehbar, nachweisbar und plausibel** dargestellt sind;*
- *die Grundlagen für die Nachsorgeplanung der verschiedenen Deponien untereinander **vergleichbar** sind.*

Die Inhaber von Deponien und die zuständige kantonale Fachstelle setzen sich für Gewährleistung der gebührenden Qualitätssicherung bei der Gefährdungsabschätzung ein.

Die zuständige Behörde wird den «Sternkriterien» (rot markierte, mit Stern versehene Bewertungskriterien) bei der Beurteilung besondere Bedeutung beimessen – in Hinblick auf eine effektive Qualität der vorzunehmenden Gefährdungsabschätzung.

Zwecks einheitlicher Erstellung vollständiger Angaben für die Gefährdungsabschätzung soll sich der Inhalt des abschliessenden Berichts an Anhang 7 orientieren. Dies wird die Vergleichbarkeit der Bewertungsgrundlagen verschiedener Deponien unterstützen.

7 Verzeichnisse

7.1 Abbildungen

Abbildung 1 Gefährdungsabschätzung als Entscheidungsgrundlage	5
Abbildung 2 Zeitliche Phasen einer Deponie	7
Abbildung 3 Mögliche Belastung des Wasserpfads durch die Deponie (schematisch)	9
Abbildung 4 Strukturmodell Deponie	10
Abbildung 5 Dreistufiges Vorgehen für die Gefährdungsabschätzung	11
Abbildung 6 Ablauf der Vorprüfung	14
Abbildung 7 Ablauf der Hauptprüfung	15
Abbildung 8 Ablauf der Detailprüfung	16
Abbildung 9 Vorgehen Gefährdungsabschätzung auf Stufe Detailprüfung (iterativer Ablauf)	18

7.2 Literatur

[1]	5	BAFU, CSD Ingenieure AG, Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH, BMG Engineering AG (2013): Nachsorge und Gefährdungsabschätzung. – Kurzbericht zum Anwendungstest. Kurzbericht des Projektteams vom 12.8.2013 (unveröffentlicht).
[2]	9	BAFU (2007): Sicherung von Deponie-Altlasten. Stand der Technik, Grenzen und Möglichkeiten. Umwelt-Vollzug, UV-0720-D.
[3]	11	BAFU (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug, UV-1005-D.
[4]	14	BAFU (2015): Überwachung von belasteten Standorten. Umwelt-Vollzug Altlasten, UV-1505-D.
[5]	15	BAFU (2012): Anforderungen an die Einleitung von Deponiesickerwasser. Empfehlungen für die Beurteilung, Behandlung und Einleitung von Deponiesickerwasser. Vollzug Umwelt, UV-1223-D.
[6]	18	BAFU (2012): TransSim Version 2.0 (2012): Mathematisches Simulationsmodell zur Abschätzung des Schadstofftransportes in der ungesättigten Zone bis zum Eintritt in das Grundwasser.
[7]		BAFU (2017): Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich. Vollzug Umwelt, UV-1715-D.

[8]

BAFU (2013): Herleitung von Konzentrationswerten und Feststoff-Grenzwerten. Vollzugshilfe zur Altlasten-Verordnung und zur Technischen Verordnung über Abfälle. Umwelt-Vollzug, UV-1333-D.

[9]

BAFU (2018): Beurteilung von belasteten Standorten über Karstgrundwasser. Umwelt-Vollzug. Ein Modul der Vollzugshilfe «Untersuchung von belasteten Standorten». UV-1821-D.

[10]

BAFU (2014): Erläuterungen zur Totalrevision der Technischen Verordnung über Abfälle TVA. – Ref. N093-1290, 5.3.2014.

[11]

BAFU (2018): Sanierungsbedarf sowie Ziele und Dringlichkeiten einer Sanierung. Ein Modul der Vollzugshilfe «Untersuchung von belasteten Standorten». Umwelt-Vollzug, UV-1828-D.

[12]

BUWAL (2003): Grundwasser-Probenahme, Praxishilfe. Vollzug Umwelt, VU-2506-D.

[13]

BUWAL (2003): Probenahme von Grundwasser bei belasteten Standorten. Vollzug Umwelt, VU-3413-D.

[14]

BUWAL (2004): Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt, VU-2508-D.

[15]

CSD Ingenieure AG, Prof. Burmeier Ingenieurgesellschaft mbH, BMG Engineering AG (2013): Konzept Einheitliche Gefährdungsabschätzung bei Deponien. Unveröffentlichter Projektbericht des BAFU.

[16]

Hirschmann, G., Förstner, U. (2000): Langzeitverhalten von Schlackedeponien. TU Hamburg-Harburg, Deponietechnik 2000, Verlag Abfall Aktuell, Stuttgart.

[17]

Krümpelbeck, I. (2000): Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien. Bergische Universität, 2000.

[18]

Laner, D., Fellner, J., Brunner, P.H. (2010): Beurteilung von Deponieemissionen in Anbetracht der Nachsorgedauer. TU Wien. DepoTech 2010.

[29]

Laner, D., Fellner, J., Brunner, P.H. (2011): Standortbezogene Kriterien zur Beurteilung der Umweltverträglichkeit von Deponieemissionen unter dem Aspekt der Nachsorgedauer. Technische Universität Wien, Projekt Skudena, Schlussbericht.

[20]

sia: Deponiebau. – Norm sia 203, SN 531203: 2016 Zürich.

Anhänge

A-1 Basisdaten (sind ab Vorprüfung zusammenzustellen)

BASISINFORMATION	REFERENZ
<i>Umweltverträglichkeitsbericht</i>	Art. 1 und Anhang Ziff. 40.4, 40.5 UVPV
<i>Baugrunduntersuchungen und Setzungsberechnungen. Geologische und hydrogeologische Untersuchungen / Nachweise zum Standort</i>	Anh. 2 Ziff. 1 TVA / Anh. 2 Ziff. 1.2.4 VVEA
<i>Bauprojekt (Abdichtung, Entwässerung, Entgasung, Etappen, Abschluss)</i>	Art. 24 TVA / Art. 39, Art. 40 Abs. 2 und Art. 42 VVEA
<i>Errichtungsbewilligung (Deponietyp, Nutzungsbeschränkungen nach Abschluss, andere Auflagen)</i>	Art. 25 TVA / Art. 39 VVEA
<i>Ausführung/(Dokumentation) von Abdichtung, Entwässerung, Entgasung, Abschluss</i>	Anh. 2 Ziff. 2 TVA / Anh. 2 Ziff. 2 VVEA sowie SIA-Norm 203 Deponiebau
<i>Betriebsbewilligung (Betriebsreglement, Kontrolle der Anlagen zur Abdichtung/Entwässerung/Entgasung, Liste der Abschlussarbeiten und erforderliche Nachsorge im Rahmen des Nachweises über volle Deckung deren Kosten, allfällige Beschränkungen Abfallzulassung, während und nach Betrieb vorzunehmende Kontrollen, Unterhaltsarbeiten und Dokumentationen, andere Auflagen)</i>	Art. 26 und 27 TVA / Art. 40 VVEA sowie Art. 32b USG
<i>Verzeichnis über Gewicht der verschiedenen abgelagerten Abfälle > jährlich an Behörde. Dokumentation von Auffüllung und Ausbau der Deponie. Regelmässige Kontrollen und Wartung der Anlagen zur Entwässerung, Entgasung und zur Kontrolle des Grundwassers. 2x jährlich: Untersuchung Grundwasserproben und eingeleitetes Abwasser. Nötige Massnahmen nach Abschluss von einzelnen Etappen.</i>	Art. 34 TVA / Art. 6 und 41 VVEA
<i>Abfallinventar der verschiedenen abgelagerten Abfälle, z. B. Unterscheidung nach Art respektive nach Abfallperioden: Abfälle vor 1991, ab 1991 bis 2000, ab 2000 bis 2010, ab 2010 (Änderungen der TVA betreffend Zulassung von Abfällen), ab 2016 (VVEA)</i>	Art. 23 und 34 TVA
<i>Reststoffdeponien: Dokumentation Einbauzonen einzelner Abfälle</i>	Art. 35 TVA
<i>Reaktordeponien: 2x jährlich Analyse Deponiegase</i>	Art. 36 TVA / Art. 53 Abs. 5 VVEA
<i>Überwachung durch Kanton (2x jährlich, Betrieb und vorgeschriebene Anlagen)</i>	Art. 28 TVA
<i>Ggf. historische, technische Untersuchungen nach AltIV</i>	Art. 7 AltIV

A-2 Deponiemonitoring (grundsätzlich zu berücksichtigende Analyseparameter)

SICKERWASSER	GRUNDWASSER
Feldparameter/Indikatoren	
pH	pH
Leitfähigkeit	Leitfähigkeit
RedOx-Potenzial	RedOx-Potenzial
CSB (chemischer Sauerstoffbedarf)	—
Fe ²⁺ /Fe ³⁺ , Mn ²⁺	Fe ²⁺ /Fe ³⁺ , Mn ²⁺
Sauerstoff	Sauerstoff
DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)	DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)
BSB5 (biologischer Sauerstoffbedarf) ¹⁾	—
Sickerwassermenge	Grundwasserspiegel
Trübung ²⁾	Trübung ²⁾
Temperatur	Temperatur
Organoleptische (Geruch, Aussehen, Farbe)	—
Anorganische Schadstoffe	
Ammonium	Ammonium
Bor	Bor
Nitrit	Nitrit
Nitrat	Nitrat
Chlorid	Chlorid
Bromid ³⁾	—
Sulfat	Sulfat
Phosphat ⁴⁾	—
Cyanid (frei)	Cyanid (frei) ⁵⁾
Metalle	Metalle
Organische Schadstoffe	
Flüchtige organische Verbindungen VOCs (EPA 524)	Flüchtige organische Verbindungen VOCs (EPA 524)
KW C ₅ –C ₁₀	KW C ₅ –C ₁₀
KW C ₁₀ –C ₄₀	KW C ₁₀ –C ₄₀ ⁵⁾
PAK	PAK ⁵⁾
PCB	PCB ⁵⁾
Phenole ⁶⁾	Phenole ⁶⁾
Möglichkeiten des Nachweises organischer Spurenstoffe (im Einzelfall zu beurteilen, ggf. Orientierungsmessung)	
Bisphenol A, Phthalate, Alkylphenole (v. a. Nonylphenol)	
Weitere unbekannte Verbindungen: GC-MS Screening	
Allgm. ökotoxikologische Effekte: Bioassays mit Alge, Daphnie, Leuchtbakterien (vgl. Erläuterungen im Haupttext)	
¹⁾ Gemäss Anhang 3.3 Ziffer 25 GSchV relevant für die Einleitung in ein Gewässer. In der Praxis wird bevorzugt CSB gemessen. ²⁾ Bei trüben Wasserproben darf durch die Filtration kein Schadstoffverlust auftreten. Bei einer Trübung >5 FNU ist daher zusätzlich der Gesamtgehalt einer unfiltrierten Probe zu bestimmen. ³⁾ Bromid wird in Kläranlagen mit Ozonung zu Bromat, welches ökotoxisch und hinsichtlich Trinkwassernutzung relevant ist. Quellen von Bromid können Sickerwasser von Deponien mit Verbrennungsrückständen aus KVA sein. ⁴⁾ Nur bei Einleitungen in stehende Gewässer. ⁵⁾ Anfangsbeprobung sowie Stichproben, eine regelmässige Beprobung ist nur nötig, falls der Parameter im Sickerwasser nachgewiesen wird. ⁶⁾ Phenole: Die Konzentration von Alkylphenolen ist zu bestimmen.	

Hintergrundinformationen zu Analyseparametern

Die in diesem Anhang definierten Analyseparameter umfassen grundsätzlich die im Bereich von Industrie-, Gewerbe- und Siedlungsabfällen relevanten Parameter. Diese Parameter stellen Informationen zum Abfallinventar zur Verfügung, insbesondere auch wenn Kenntnislücken bezüglich einzelner Abfall-Chargen bestehen. Ferner dienen insbesondere mobile Parameter dazu, Informationen zum Verhalten der Deponie auszuwerten: Nimmt beispielsweise die Sulfat-Konzentration im Grundwasserabstrom deutlich zu, dann weist dies auf Sickerwasseraustritte hin. Der Gutachter hat hier bezüglich Gefährdung nach Ende der Nachsorgephase entsprechende Schlussfolgerungen zu ziehen. Sulfat selbst gefährdet das Schutzgut jedoch kaum.

Nachfolgend werden relevante Aspekte zu einigen der verlangten Überwachungsparameter vorgestellt.

Ammonium und Nitrit

Hohe Ammonium- und Nitritkonzentrationen in Sickerwässern resultieren aus anaeroben biologischen Abbauprozessen. Damit sind semi-quantitative Rückschlüsse auf die Anwesenheit von abbaubaren Abfällen möglich. Ferner sind beide Parameter Indikatoren für das Stadium der Deponie (vgl. Schadstoff-Entwicklung im Sickerwasser Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2 in Anhang A-5).

Ammoniumkonzentrationen im Grundwasser müssen nicht in allen Fällen durch Sickerwasseraustritte bedingt sein. Ammonium kann auf landwirtschaftliche Aktivitäten oder natürliche Prozesse im Grundwasser zurückzuführen sein. Durch einen Vergleich von Oberstrom und Abstromkonzentrationen sind diese Effekte jedoch ausschliessbar.

Eine vertiefte Diskussion dieser Parameter ist im Rahmen der Hauptprüfung zu führen (Anhänge A-3.1/3.2, Kriterien B35/C35 und B125/C125). Dabei sind insbesondere Aspekte wie Einleitung in einen Vorfluter (Abfluss, pH) zu beachten, da aquatische Systeme sehr sensibel auf die fischtoxischen Verbindungen Ammonium und Nitrit reagieren.

Sulfat, Chlorid, Bor

Anhang A-4 zur Hauptprüfung definiert auch für wenig toxische Stoffe wie Sulfat, Chlorid oder Bor Triage-Krite-

rien. Sulfat und Chlorid sind in Sickerwässern von Deponien der Typen B-E bis in den einstelligen g/l-Bereich vertreten. Bor ist zudem ein zuverlässiger Indikator für Siedlungsabfälle und Abwasser. Bei diesen anorganischen und mobilen Ionen geht es insbesondere darum, mögliche Emissionen von Sickerwasser ins Grundwasser zu überprüfen; mit einer unmittelbaren Gefährdung von Schutzgütern ist nicht zu rechnen.

Chlorid und Sulfat beeinflussen den Geschmack von Trinkwasser ab einer Konzentration von 250 mg/l. Aus diesem Grund wird als Triage-Kriterium in der Hauptprüfung der zehnfache Wert dieser Geschmacks-Schwelle verwendet.

Phosphor

In Oberflächengewässern, insbesondere in stehenden Gewässern, führen hohe Phosphor-Gehalte zu einer starken Primärproduktion. Dieser Parameter ist deshalb im Falle einer bestehenden oder potenziellen zukünftigen (d. h. nach der Nachsorgephase) Einleitung in stehende Oberflächengewässer zu berücksichtigen.

Schwermetalle

Aufgrund ihres hohen Schadstoffpotenzials sind Schwermetalle bei Deponien von Relevanz. Via Sickerwasser können Schwermetalle gelöst wie auch in Partikelform emittiert werden. Die Anforderungen an die Einleitung in Oberflächengewässer gemäss GSchV beziehen sich entsprechend auf Gesamtgehalte (Anhang 3.2 GSchV).

Im Grundwasser gilt, dass der zu einem Rezeptor transportierte gelöste und der an Feinpartikel gebundene transportierbare Anteil der Metalle im Wasser bestimmt werden sollen. Grundwasser aus Piezometer-Beprobungen kann Schwebstoffe enthalten, die aber nicht durch den Aquifer transportiert werden. Trübe Proben (> 5 FNU⁸) sollen so weit als möglich von solchen Schwebstoffen befreit werden, ohne dass dabei wesentliche Verluste an transportierbaren Schadstoffen auftreten. Die Vollzugshilfe Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich [7] definiert die entsprechende Probenahme-Anweisung.

⁸ FNU = *Formazine Nephelometric Units*. Um Trübungen vergleichbar messen zu können, bedient man sich der Trübungsstandardflüssigkeit *Formazin*.

Die Löslichkeit von Schwermetallen ist stark abhängig vom pH-Wert des Sickerwassers sowie der Konzentration von Komplex-Liganden (Ammoniak, Chlorid, EDTA⁹, etc.). Bei tiefen pH-Werten und hohen Konzentrationen der relevanten Liganden kann die Löslichkeit von Metallen stark zunehmen. Die Vorhersage einer zeitlichen Veränderung des pH-Werts im Sickerwasser ist jedoch anspruchsvoll und grösstenteils nur im Rahmen einer Detailprüfung notwendig, die sich aufgrund hoher Schwermetall-Konzentrationen im Sickerwasser ergeben würde. Anhang A-5 stellt diesbezüglich ein mögliches Vorgehen vor.

Flüchtige organische Verbindungen

Chlorierte und nicht-chlorierte organische Verbindungen gehören zu den klassischen Gewerbe- und Industriechemikalien und können in jeder Deponie (Typen B-E) vorhanden sein. Aufgrund ihrer Flüchtigkeit sind die Anforderungen an die Probenahme sowie deren Konservierung gemäss Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich [7] zu beachten.

Der Kriterienkatalog in Anhang A-4 definiert für diese Substanzkategorie als Triage-Kriterium den zehnfachen K-Wert nach AltIV im Sickerwasser (vgl. oben). Die K-Werte der nicht-chlorierten aromatischen Kohlenwasserstoffe Xylol, Toluol sowie Ethylbenzol liegen im einstelligen mg/l-Bereich. Da bei diesen Verbindungen bei Konzentrationen <K-Wert negative Auswirkungen auf Gewässerorganismen nicht ausgeschlossen werden können, wird als weiteres Triage-Kriterium ein Summenwert von ≤ 10 mg/l (Σ nicht-chlorierter Kohlenwasserstoffe) im Sickerwasser verlangt. Für chlorierte Kohlenwasserstoffe gilt zudem ein Summenwert von $\leq 0,5$ mg/l. Bei geringer Verdünnung von Sickerwasser im Vorfluter hat der Gutachter die Gefährdung von aquatischen Organismen entsprechend abzuklären.

Aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB)

Vertreter dieser drei Substanzklassen können ebenfalls prominent in Abfällen vertreten sein. Diese sind jedoch grösstenteils wenig mobil und sorbieren stark an organisches Material der Abfallmatrix; Emissionen sind – wenn

überhaupt – vor allem an Partikel gebunden zu erwarten. Deshalb werden nur punktuelle Analysen und keine Langzeit-Trendmessungen im Sickerwasser verlangt.

Gelöster organischer Kohlenstoff und biologischer Sauerstoffbedarf

Gemäss einem umfangreichen Datensatz von Schweizer Deponien (publiziert in [5]) ist der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) in Deponiesickerwasser nur zu ca. 25 % biologisch abbaubar; 75 % des Kohlenstoffs sind refraktär. Dies ist jedoch im Einzelfall zu prüfen, da die Daten teilweise deutlich streuen. Gemäss Anhang 3.3 Ziffer 25 GSchV darf Sickerwasser mit einem BSB5 von 20 mg O₂/l in Oberflächengewässer eingeleitet werden. Aufgrund des hohen refraktären Anteils sieht vorliegendes Konzept als Triage-Wert für DOC in der Hauptprüfung eine Anforderung von 40 mg C/l Sickerwasser vor; bei dem genannten nicht-refraktären Anteil entspricht dies in etwa den Anforderungen an den BSB5 gemäss GSchV.

Organische Spurenstoffe

Reaktorstoffe sowie auch Schlacken aus der Kehrrichtverbrennung können mit organischen Spurenstoffen belastet sein. Diese werden durch das Analysenprogramm gemäss Anhang A-2 nicht erfasst. Ein Grossteil dieser Verbindungen sind in den tiefen Konzentrationen, in welchen sie in Sickerwässern vorkommen, für Mensch und Umwelt unproblematisch. Dennoch zeigen verschiedene Studien der letzten Jahre, dass Verbindungen wie Bisphenol A in Sickerwässern im einstelligen mg/l-Bereich vorkommen können. Dabei liegt die Qualitätsanforderung an Oberflächengewässer für Bisphenol A bei tiefen 1.5 µg/l. Auch das östrogen wirkende Nonylphenol (Qualitätsanforderung $<< 1$ µg/l) sowie Phthalate (Weichmacher) können in substantiellen Konzentrationen in Sickerwässern vorkommen. Insbesondere bei einer Einleitung in empfindliche Oberflächengewässer bzw. bei unvorteilhaften Verdünnungsverhältnissen prüft der Gutachter, ob die Analyse dieser Parameter notwendig ist.

Neben organischen Spurenstoffen können im Einzelfall auch weitere Industriechemikalien, welche nicht im Analysenprogramm enthalten sind, von Bedeutung sein. Dies ist vor allem in Fällen relevant, in welchen das Abfallinventar nicht lückenlos bekannt ist. Um eine Gefährdung von Schutzgütern auszuschliessen, werden in diesem

9 EDTA = Ethylendiamintetraessigsäure bzw. -acetat (Komplexbildner)

Fall nach dem Stand der Technik Non-Target Screenings (GC-MS) durchgeführt. Dabei können unbekannte Verbindungen identifiziert und priorisiert werden. Die oben erwähnten Verbindungen (Bisphenol A, Phthalate, Nonylphenol) können durch diese Methode erfasst werden. Ein Nachteil der Methode ist, dass sehr polare Verbindungen durch das Raster fallen.

Aus praktischen und finanziellen Gründen werden nie alle im Sickerwasser enthaltenen Schadstoffe identifiziert werden können. Der Gutachter kann somit nicht vollständig ausschließen, dass das Sickerwasser weitere problematische Verbindungen enthält, welche zu negativen Effekten in Oberflächengewässern führen könnten, falls nach Ende der Nachsorgephase Deponiesickerwasser eingeleitet werden wird. Bei Einleitung in empfindliche Oberflächengewässer besteht die Möglichkeit, Bioassays durchzuführen zwecks Erfassung ökotoxikologischer Wirkungen des Sickerwassers im Vorfluter. Allgemeine toxische Effekte auf Wasserorganismen können damit ohne aufwendige chemische Analytik erfasst werden. Aufgrund möglicher Emissionen von Sickerwässern ins Grundwasser (Rezeptor Mensch) ersetzen diese Tests jedoch nicht die in Anhang A-2 vorgegebene Analytik.

A-3 Hauptprüfung, Bewertungsmatrix

Erläuterung – Abhängigkeiten zwischen Kriterien

Die nachfolgenden Kriterien für die vollständige Hauptprüfung können jeweils «grün» oder «gelb» bewertet werden. Aus einem mit «gelb» beurteilten Kriterium muss nicht zwingend eine Gefährdung von Schutzgütern nach Abschluss der Nachsorge resultieren, eine Detailprüfung ist nicht zwingend notwendig.

Jedes Kriterium mit einer Bewertung «gelb» kann in Kombination mit «grün» bewerteten Kriterien diskutiert werden. Kann eine Bewertung «gelb» nicht plausibel und fundiert begründet durch andere Kriterien oder durch gezielte Massnahmen entschärft werden bzw. kann eine Gefährdung nach Abschluss der Nachsorge nicht ausgeschlossen werden, ist eine Detailprüfung durchzuführen.

Mit Sternen versehene, rot beschriftete Kriterien sind von besonderer Relevanz. Der gutachterliche Spielraum / Freiheitsgrad ist dort limitiert. Sie sind faktisch nur durch Massnahmen oder besonders geeignete Standorteigenschaften entschärfbar und erfordern die besondere Aufmerksamkeit der Behörde in Hinblick einer effektiven Gewährleistung der Qualität der ganzen Gefährdungsabschätzung.

Es wird darauf verzichtet, sämtliche Abhängigkeiten aufzuzeigen. Mögliche Abhängigkeiten sind durch den Gutachter für die «gelb» bewerteten Kriterien aufzuzeigen.

Nachfolgend werden einige Beispiele für abhängige Kriterien beschrieben:

Beispiel 1: Eine nicht nach TVA/VVEA bzw. Norm SIA 203 [20] erstellte Basisabdichtung wird als problematisch beurteilt (Kriterium C81, Bewertung «gelb»). Im unmittelbaren wie auch im weiteren Abstrom des Standortes ist kein nutzbares Grundwasser vorhanden (Kriterium C121, Bewertung «grün») → Gesamtbewertung «grün».

A-3.1 Kriterien für Deponien Typ B – selektiv für Typ A

Informationen / Fakten zu den einzelnen Kriterien sind zu referenzieren, d. h. es ist nachvollziehbar zu dokumentieren, woher die zur Bewertung des Kriteriums erforderlichen Informationen stammen und wo diese zu finden sind.

B Kriterien Hauptprüfung

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
B1 Abfallinventar		
B11 Informationsstand Inventar: * Informationsstand bezüglich der in der Deponie abgelagerten Abfälle: Eigenschaft, Quantität, Branchenherkunft?	Lückenlose Dokumentation (Eigenschaft der Abfälle zu mindestens 80% der Menge dokumentiert und bekannt).	Eigenschaft der Abfälle zu mehr als 20% der Menge nicht bekannt.
B12 Bewilligungspflichtige Inertstoffe/auf Typ B zugelassene Abfälle eingelagert?	Ja, lückenlose und nachvollziehbare Dokumentation.	Ja, Daten vorhanden jedoch unvollständig.
B13 Einlagerung von nicht-TVA-Inertstoff konformen/nicht auf Typ B zugelassenen Abfällen? *	Nein, nachvollziehbar dokumentiert.	Nicht ausschliessbar.
B14 Sauberes Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial in Inertstoffdeponie/-kompartiment resp. Typ B eingelagert?	Ja, lückenlose und nachvollziehbare Dokumentation.	Ja, Daten vorhanden jedoch unvollständig.
B15 Schlämme, schlammförmige Abfälle eingelagert? *	Nein, oder nur feste Filterkuchen entwässerter Schlämme.	Teilweise unentwässerte Schlämme eingelagert.
B2 Wasserbilanz (Berücksichtigung sämtlicher Wasserzutritts und -austrittsprozesse)		
B21 Status Wasserbilanz: Ist eine Wasserbilanz für die Deponie vorhanden?	<ul style="list-style-type: none"> Wasserbilanz vorhanden; und Wasserbilanz deckt alle relevanten Prozesse ab und ist plausibel. 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Wasserbilanz vorhanden; oder Wasserbilanz deckt nicht alle relevanten Prozesse ab; oder Wasserbilanz ist nicht plausibel.
B3 Sickerwasser (Gefasstes Deponiesickerwasser, u. a. im zum Schutz nutzbarer unterirdischer Gewässer notwendigem Randgebiet)		
B31 Datenlage: Sind über eine längere Zeitspanne regelmässig Analysen in sämtlichen Kompartimenten durchgeführt worden?	<ul style="list-style-type: none"> Zeitreihe vollständig/regelmässig; und Resultate verwertbar (≥ 1 Kampagne pro Jahr über die gesamte Betriebsdauer). 	<ul style="list-style-type: none"> Daten vorhanden, jedoch unvollständig (< 1 Kampagne pro Jahr); oder in unregelmässigen Zeitabständen.
B32 Mengenmessung Sickerwässer: Werden die Mengen aller Sickerwässer aus den Kompartimenten und die Gesamtmenge des Sickerwasseranfalls regelmässig gemessen?	Regelmässige Mengenmessungen.	Unregelmässige oder keine Mengenmessungen.
B33 Erfasste Parameter im Sickerwasser: Werden alle relevanten Parameter gemäss Anhang 2 erfasst?	Ja.	Nein.
B34 Qualität der Probenahme und Analysen: Werden die Anforderungen an die Probenahme und die Analytik gemäss Vollzugshilfe [7] erfüllt?	Ja.	Nein.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
<p>B35 Konzentrationen im Sickerwasser (Ist-Zustand, nach Deponieabschluss und nach Ende Nachsorgephase): Werden im Ist-Zustand und mit grosser Wahrscheinlichkeit nach Deponieabschluss sowie nach Ende der Nachsorgephase die numerischen Kriterien gemäss Anhang A-4 eingehalten?</p> <p>B36 Einleitung Sickerwasser: Wird das Sickerwasser in ein Oberflächengewässer eingeleitet – allenfalls nach Vorbehandlung an Ort, oder wird es in die öffentliche Kanalisation eingeleitet?</p>	<p>Konzentrationen aller Parameter sind < numerische Kriterien (Anhang A-4).</p> <p>Es wird direkt eingeleitet (vgl. Kriterien B132 ff.).</p>	<p>Konzentrationen eines oder mehrerer Parameter > numerische Kriterien (Anhang A-4).</p> <p>Es versickert (vgl. Kriterien B121 ff.); oder es wird vorbehandelt und/oder in die öffentliche Kanalisation eingeleitet.</p>
B4 Deponiekörper		
<p>B41 Setzungen: Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit von Setzungen?</p> <p>B42 Standsicherheitsberechnungen bei Böschungshöhe ≥ 20 m: * Sind Standsicherheitsberechnungen vorhanden und nachgeführt? Ist Hangwasserzutritt bzw. möglicher Einstau berücksichtigt?</p> <p>B43 Böschungen: Böschungsneigungen</p> <p>B44 Wasserstauhohizonte bei Böschungshöhe ≥ 20 m: * Sind Wasserstauhohizonte oder ein Einstau des Abfallkörpers beobachtbar oder zu erwarten?</p> <p>B45 Stabilität des Deponiekörpers bei Böschungshöhe ≥ 20 m: * Verschiebung des Deponiekörpers: Sind geodätische oder Inklinometer-Messungen durchgeführt worden?</p> <p>B46 Verschiebungsmessungen Resultate bei Böschungshöhe ≥ 20 m: * Deformationen in Richtung treibender Kraft?</p>	<p>Der Deponiekörper ist homogen und gut verdichtet. Keine flüssigen Schlämme abgelagert.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Standsicherheitsberechnungen sind vorhanden; und • Hangwasserzutritte bzw. möglicher Einstau wurden berücksichtigt. <p>≤ 1:2.5 (≤ 22°).</p> <p>Keine Stauhohizonte oder kein Einstau im Deponiekörper zu erwarten.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regelmässige Verschiebungsmessungen sowie Auswertungen; und • gute langjährige Datenlage, Mechanismen nachvollziehbar. <ul style="list-style-type: none"> • Bisher keine zunehmende Entwicklung (Akzeleration); und • in Zukunft keine absehbar. 	<p>Der Deponiekörper ist inhomogen und/oder ungenügend verdichtet. Flüssige Schlämme abgelagert.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine Standsicherheitsberechnungen vorhanden; oder • Hangwasserzutritte bzw. möglicher Einstau wurden nicht berücksichtigt. <p>> 1:2.5 (> 22°).</p> <p>Stauhohizonte oder Einstau im Deponiekörper können nicht ausgeschlossen werden. Massnahmen wie Überwachung Böschungen etc. sind getroffen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine verwertbaren Verschiebungsmessungen; oder • Daten sind vorhanden, jedoch unvollständig oder in unregelmässigen Zeitabständen; oder • Mechanismen nur teilweise nachvollziehbar. <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung nicht oder nur teilweise auswertbar; oder • in Zukunft Beschleunigung nicht ausschliessen.
B5 Kompartiment-Trennung <i>nur bei Deponien mit verschiedenen Kompartimenten</i>		
<p>B51 Vertikale Trennung der Kompartimente: Sind die Kompartimente mit Abfällen unterschiedlicher Qualität vertikal getrennt?</p> <p>B52 Horizontale Trennung, Schichtqualität: Qualität der oberen Abfallschicht?</p> <p>B53 Schiefe/horizontale Trennung: Setzungsverhalten?</p>	<p>Ja.</p> <p>Das obere Kompartiment enthält nur unverschmutzten Aushub, (keine Schlacke, Reaktorstoffe o.ä.).</p> <p>Das obere und das untere Kompartiment weisen ein ähnliches Setzungsverhalten auf.</p>	<p>Nein, horizontale oder schiefe Trennung.</p> <p>Das obere Kompartiment enthält nicht nur unverschmutzten Aushub (auch Schlacke, Reaktorstoffe o.ä.).</p> <p>Das obere und das untere Kompartiment weisen ein unterschiedliches Setzungsverhalten auf.</p>

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
B54 Trennschicht: Qualität und Aufbau der Trennschicht?	<ul style="list-style-type: none"> • Dichte mineralische oder nachweislich gleichwertige Trennschicht bei Abgrenzungen zu Kompartimenten Deponietypen C bis E. • Bei vertikalen Abgrenzungen zu Deponietyp A einfache Trennschicht. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mineralische oder ähnliche Trennschicht mit begrenzter Dichtigkeit oder nur durchlässige Trennschicht bei Abgrenzungen zu Kompartimenten Deponietypen C bis E. • Nur durchlässige Trennschicht bei schiefen/horizontalen Abgrenzungen zu Deponietyp A.
B55 Entwässerung (sofern vorgeschrieben) von Kompartimenten?	Kompartimente werden separat entwässert und können separat beprobt werden.	Kompartimente werden entweder nicht separat entwässert oder können nicht separat beprobt werden.
B6 Basisdrainage (Gefasstes Deponiesickerwasser, u. a. im zum Schutz nutzbarer unterirdischer Gewässer notwendigem Randgebiet)		
B61 Entwässerung in freiem Gefälle? *	<ul style="list-style-type: none"> • Ableitung des Sickerwassers erfolgt im freien Gefälle bis zur Vorflut/ARA; und • Entwässerungsleitungen weisen langfristig ein Gefälle $\geq 2\%$ auf. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ableitung des Sickerwassers erfolgt nicht oder nur teilweise im freien Gefälle bis zur Vorflut/ARA; oder • Entwässerungsleitungen weisen langfristig ein Gefälle $< 2\%$ auf.
B62 Basisentwässerung, Aufbau: Konstruktiver Aufbau der Basis- und Flankenentwässerung?	<ul style="list-style-type: none"> • Durchlässige Entwässerungsschicht oder Leitungsumhüllung mit Drainmaterial an der Basis; und • Leitungen: \emptyset innen ≥ 200 mm; und • HDPE. 	<ul style="list-style-type: none"> • Leitungen: \emptyset innen < 200 mm; oder • PE, PVC; oder • keine Leitungsumhüllung; oder • Zerstörung Leitungen und Aufstau nachgewiesen respektive langfristig möglich.
B63 Leitungen: Sammelleitungen spül- und einsehbar?	<ul style="list-style-type: none"> • Auf der gesamten Länge spülbar; und • auf der gesamten Länge mit Kanalfernsehen einsehbar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht auf der gesamten Länge spülbar; oder • nicht auf der gesamten Länge mit Kanalfernsehen einsehbar.
Intervall für den Unterhalt der Leitungen?	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitreihe vollständig und regelmässig; und • Resultate verwertbar (≥ 1 Kampagne pro 2 Jahre über die gesamte Betriebsdauer). 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine verwertbaren Angaben zum Leitungsunterhalt; oder • Daten vorhanden, jedoch unvollständig (< 1 Kampagne pro 2 Jahre).
B7 Schachtbauwerke im Bereich Deponietyp B		
B71 Begehbare Schrägschächte und Stollen, unterirdische Kammern: Allgemeiner Zustand?	Die Konstruktion weist keine oder sehr geringe Mängel auf (keine Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).	Die Konstruktion weist erhebliche Mängel auf (Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).
Zustandskontrollen: Kontrolle der Baustoffe und der Ausführung?	<ul style="list-style-type: none"> • Zustandskontrollen in regelmässigen Intervallen; und • lückenlose Dokumentation während der gesamten Betriebsdauer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Zustandskontrollen; oder • Angaben zu Zustandskontrollen fehlen oder sind vorhanden, jedoch unvollständig.
Zuleitungen Sickerwasser siphoniert? (Nur bei Kompartimenten Typ B angrenzend an Kompartimentstypen C bis E)	• Alle Zuleitungen sind siphoniert.	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht alle Zuleitungen sind siphoniert; oder • ungenügende Siphonlängen.
B72 Begehbare Vertikalschächte: Allgemeiner Zustand?	Die Konstruktion weist keine oder sehr geringe Mängel auf (keine Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).	Die Konstruktion weist erhebliche Mängel auf (Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).
Durchstanzen der Basisabdichtung oder der Untergrundergänzung?	Durchstanzen wird konstruktiv verhindert über eine Foundation oder über eine Verstärkung der Basisabdichtung, Stauerschicht oder Untergrundergänzung.	Durchstanzen kann nicht ausgeschlossen werden.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
Zustandskontrollen?	<ul style="list-style-type: none"> • Zustandskontrollen in regelmässigen Intervallen; und • lückenlose Dokumentation während der gesamten Betriebsdauer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine oder sehr unregelmässigen Zustandskontrollen; oder • Angaben zu Zustandskontrollen fehlen oder sind vorhanden, jedoch unvollständig.
B8 Ergänzung Untergrund, Stauerschicht		
B81 Konstruktiver Aufbau im zum Schutz nutzbarer unterirdischer Gewässer notwendigen Randgebiet: * Erfüllt die Konstruktion die technischen Anforderungen nach TVA/VVEA?	Die Ergänzung des Untergrunds ist notwendig und technisch objektiv nach TVA/VVEA erstellt worden.	Die Ergänzung des Untergrunds ist notwendig, entspricht jedoch nicht den Anforderungen von TVA/VVEA (Durchlässigkeit grösser oder Mächtigkeit geringer).
B82 Konstruktiver Aufbau im übrigen Bereich, üB: Stauender Untergrund?	Der anstehende Untergrund weist eine Durchlässigkeit von $k \leq 1.0 \times 10^{-7}$ m/s auf oder es existiert eine künstlich aufgebrachte, stauende Basis (bspw. Stauerschicht gemäss SIA 203).	Der anstehende Untergrund weist eine Durchlässigkeit von $k > 1.0 \times 10^{-7}$ m/s auf und es existiert keine künstlich aufgebrachte stauende Basis.
B83 Kontrollen: Wurden Wirksamkeit und Einbau kontrolliert und dokumentiert?	Die Angaben zu Anforderungs- und Qualitätskontrollen sind vollständig vorhanden und die Resultate zur Qualität sind verwertbar (QM-Plan vorhanden).	Es wurden keine Anforderungs- und Qualitätskontrollen durchgeführt oder die Angaben zu solchen sind vorhanden, jedoch unvollständig bzw. nicht verwertbar.
B84 Durchdringungen der Abdichtung: Durchdringen Bauwerke (Schächte, Leitungen etc.) vertikal die dichtende Schicht?	Keine vertikale Durchdringungen der dichtenden Schicht vorhanden.	Vertikale Durchdringungen der dichtenden Schicht sind vorhanden.
B85 Kompartiments-Übergänge: Sind die Übergänge von einem Kompartiment zum andern konstruktiv berücksichtigt (Abscheren dichtender Schichten)?	Übergänge weisen überlappende kompartimentdichtende Schichten auf, sind verstärkt und kontinuierlich ausgebildet.	Übergänge sind nur teilweise mit besonderer Sorgfalt konstruiert und ausgeführt worden.
B9 Deponiegas für Deponietyp B nicht von Bedeutung		
B10 Oberflächenabschluss		
B101 Bewuchs: Wird Erosionsrisiko durch entsprechende Massnahmen eliminiert, sind Erosionen feststellbar?	Ja, und keine Erosionen feststellbar.	Nein, oder Erosionen feststellbar.
B102 Entwässerung der Oberflächenabdeckung zur Fassung des Oberflächenwassers: Aufbau der Entwässerungsschicht?	Entwässerungsschicht und/oder Drainagerohre, soweit wegen Beschaffenheit Untergrund erforderlich, vorhanden.	Keine Entwässerungsschicht oder fehlende Drainagerohre.
Neigung der Entwässerungsschicht?	Neigung $\geq 4\%$.	Neigung $< 4\%$.
B103 Übergänge Oberflächenabschluss: Sind die Übergänge von einem Kompartiment zum andern sowie auf das gewachsene Terrain konstruktiv berücksichtigt?	Ja.	Nein, oder nur teilweise.
B11 Untergrund (ungesättigte Zone)		
B111 Mächtigkeit der ungesättigten Zone: Mächtigkeit von der Deponiesohle bis zum langjährigen maximalen Grundwasserspiegel?	Flurabstand ≥ 2 m.	Flurabstand < 2 m.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
<p>B112 Untergrund: Beurteilung des Untergrundes gemäss Anforderungen der TVA/VVEA an eine natürliche geologische Barriere?</p> <p>B113 Setzungsempfindlichkeit des Untergrunds, Karst: * Beurteilung der Setzungsempfindlichkeit des natürlichen Untergrunds?</p>	<p>Die Anforderung gemäss Anhang 2 Ziffer 1 TVA resp. Anhang 2 Ziffer 1.2 VVEA sind erfüllt oder nachweislich zumindest gleichwertige Massnahmen wurden getroffen. Nachweise zur Standorteignung liegen vor (Geologie, Hydrogeologie, Baugrund, Setzungsverhalten).</p> <p>Untergrund ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fels; oder • vorbelastete Moräne mit sehr geringer Setzungsneigung, minimalen Setzungsdifferenzen; und • weder Karst noch stark geklüfteter Fels. 	<p>Die Anforderung gemäss Anhang 2 Ziffer 1 TVA resp. Anhang 2 Ziffer 1.2 VVEA sind nicht erfüllt noch wurden nachweislich gleichwertige Massnahmen getroffen, oder Nachweise zur Standorteignung liegen nicht vor (Geologie, Hydrologie, Baugrund, Setzungsverhalten).</p> <p>Untergrund ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • unverfestigtes Lockergestein; oder • postglaziales Verlandungssediment o.ä. mit relevanter Setzungsneigung; oder • Karst oder stark geklüfteter Fels.
B12 Schutzgut Grundwasser und Wasserfassungen		
<p>B121 Nutzbares Grundwasser: * Ist nutzbares Grundwasser am Standort vorhanden?</p> <p>B122 Grundwasser-Überwachung: * (falls nutzbares Grundwasser vorhanden ist): Sind Überwachungspiezometer im Ober- und im Abstrom des Standortes vorhanden? Erlaubt der Ausbau und der Zustand der Piezometer eine repräsentative Probenahme?</p> <p>B123 Erfasste Parameter der Grundwasser-Überwachung: Werden alle relevanten Parameter gemäss Anhang A-2 Deponiemonitoring-Analyseparameter erfasst?</p> <p>B124 Qualität der Probenahme und Analysen: Werden die Anforderungen an die Probenahme und die Analytik gemäss den Vollzugshilfen [7] und [12] erfüllt?</p> <p>B125 Resultate der Grundwasser-Überwachung: * Ist das Grundwasser durch den Betrieb der Deponie unzulässig belastet?</p> <p>B126 Grundwasserfassungen: Sind im Abstrom des Standorts Grundwasserfassungen öffentlichen Interessens oder zusammenhängendes Grundwasservorkommen im Gewässerschutzbereich A₀ vorhanden?</p>	<p>Deponie liegt im übrigen Bereich (üb) oder im zum Schutz von nutzbaren unterirdischen Gewässern notwendigem Randgebiet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 1 Piezometer im Oberstrom, 3 Piezometer im Abstrom; und • regelmässige Beprobung (≥ 1 Kampagne pro Jahr); und • repräsentative Probenahme gewährleistet. <p>Ja.</p> <p>Ja.</p> <p>Die Qualitätsanforderungen gemäss Anhang 2 Ziffer 22 GSchV bzw. gemäss [14] werden im unmittelbaren Abstrom der Deponie eingehalten.</p> <p>Zunahme von Schadstoffkonzentrationen im Abstrom der Deponie (Δ Abstrom – Zustrom) < 50% des Indikatorwertes Grundwasser gemäss [14].</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nein; oder • Abstand zu Fassung oder Grundwasservorkommen im Abstrom ≥ 2000 m. 	<p>Deponie liegt über nutzbaren unterirdischen Gewässern.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine Grundwasser-Überwachung; oder • ≤ 2 Piezometer im Abstrom; oder • unregelmässige Beprobung (< 1 Kampagne pro Jahr); oder • repräsentative Probenahme nicht gewährleistet. <p>Nein.</p> <p>Nein.</p> <p>Die Qualitätsanforderungen gemäss Anhang 2 Ziffer 22 GSchV bzw. gemäss [14] werden im unmittelbaren Abstrom der Deponie nicht eingehalten.</p> <p>Zunahme von Schadstoffkonzentrationen im Abstrom der Deponie (Δ Abstrom – Zustrom) > 50% des Indikatorwertes Grundwasser gemäss [14].</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja; und • Abstand zu Fassung oder Grundwasservorkommen im Abstrom < 2000 m.
B13 Schutzgut Oberflächengewässer		
<p>B131 Oberflächengewässer: * Abstand zu Oberflächengewässern?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Überschwemmung der Deponie oder des Deponiefusses durch Oberflächengewässer ist auch im Extremfall (Hochwasser mit Wiederkehrperiode 100 Jahre) ausgeschlossen; und 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Überschwemmung der Deponie, bzw. des Deponiefusses durch Oberflächengewässer ist nicht ausgeschlossen; oder

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
Gefährdung durch diffuse Einträge von Sickerwässern und/oder durch erodierten Abfall (Erosion durch Oberflächenabfluss, Hangrutsch oder Wind)?	• Eine Gefährdung durch diffuse Einträge von Sickerwasser und durch erodierten Abfall kann ausgeschlossen werden.	• Eine Gefährdung durch diffuse Einträge von Sickerwasser oder durch erodierten Abfall kann nicht ausgeschlossen werden.
B132 Einleitung in Fließgewässer: Sind nach einer Verdünnung des Sickerwassers im Fließgewässer die Qualitätsanforderungen gemäss GSchV und [5] – unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung und ohne vorgängige Behandlung – bei der Abflussmenge $Q_{3,47}$ erfüllt?	Ja.	Nein.
B133 Einleitung in stehende Oberflächengewässer: Sind die Qualitätsanforderungen gemäss GSchV und [5] – unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung, unter Berücksichtigung der Wasser-Austauschrate sowie ohne vorgängige Behandlung – erfüllt?	Ja.	Nein.
B14 Schutzgut Boden		
B141 Rekultivierung/Boden (Landwirtschaft, Wald): Wird die Rekultivierungsschicht durch die Deponie (Gasaustritte, mangelhafter Wasserhaushalt, etc.) beeinträchtigt oder ist eine Beeinträchtigung zukünftig zu erwarten?	• Aktuell ist keine Beeinträchtigung zu beobachten; und • zukünftig ist keine Beeinträchtigung zu erwarten.	• Eine Beeinträchtigung kann aktuell beobachtet werden; oder • zukünftig ist eine Beeinträchtigung zu erwarten.
B142 Nutzflächen in der nahen Umgebung der Deponie: Werden Nutzflächen in der nahen Umgebung der Deponie durch die Deponie negativ beeinflusst (z. B. Störung des Wasserhaushalt durch Oberflächenabfluss, Windverfrachtungen, etc.)?	• Aktuell ist keine Beeinträchtigung zu beobachten; und • zukünftig ist keine Beeinträchtigung zu erwarten.	• Eine Beeinträchtigung kann aktuell beobachtet werden; oder • zukünftig ist eine Beeinträchtigung zu erwarten.

A-3.2 Kriterien für Deponien Typen C, D, E

Informationen / Fakten zu den einzelnen Kriterien sind zu referenzieren, d. h. es ist nachvollziehbar zu dokumentieren, woher die zur Bewertung des Kriteriums erforderlichen Informationen stammen und wo diese zu finden sind.

C Kriterien Hauptprüfung

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
C1 Abfallinventar		
C12 Informationsstand Inventar: * Informationsstand bezüglich der in der Deponie abgelagerten Abfälle: Eigenschaft, Quantität, Herkunft?	Lückenlose Dokumentation vorhanden.	Eigenschaft der Abfälle zu mehr als 20% des Inhaltes nicht bekannt.
C13 Brennbare und/oder abbaubare Abfälle eingelagert? *	Es wurden weniger als 5% brennbare und/oder abbaubare Abfälle eingelagert.	Es wurden mehr als 5% brennbare und/oder abbaubare Abfälle eingelagert.
C14 Industrie-/Gewerbeabfälle, Sonderabfälle, andere kontrollpflichtige Abfälle? *	Es sind weder: • Abfälle aus Industrie / Gewerbe, deren Eigenschaft unbekannt ist; noch • Sonderabfälle oder kontrollpflichtige Abfälle (Klassierung «S», «akb» und «ak») gemäss VeVA/LVA abgelagert worden.	Es sind: • Abfälle aus Industrie / Gewerbe, deren Eigenschaft unbekannt ist; oder • Sonderabfälle oder kontrollpflichtige Abfälle (Klassierung «S», «akb» und «ak») gemäss VeVA/LVA abgelagert worden.
C15 Vermischte Ablagerung? *	In der Reaktordeponie/im -kompartiment (Epoche vor VVEA) sind keine unterschiedlichen Reaktorstoffe zusammen abgelagert worden (z. B. Schlacke, Siedlungsabfälle, Klärschlamm, andere).	in der Reaktordeponien/im -kompartiment (Epoche vor VVEA) sind unterschiedliche Reaktorstoffe zusammen abgelagert worden (z. B. Schlacke, Siedlungsabfälle, Klärschlamm, andere).
C16 Schlacke: Wurde Schlacke für die Metallentfrachtung aufbereitet?	Ja.	Nein.
C2 Wasserbilanz (Berücksichtigung sämtlicher Wasserzutritts und -austrittsprozesse)		
C21 Status Wasserbilanz: Ist eine Wasserbilanz für die Deponie vorhanden?	• Wasserbilanz vorhanden; und • Wasserbilanz deckt sämtliche relevanten Prozesse ab; und • Wasserbilanz ist plausibel.	• Keine Wasserbilanz vorhanden; oder • Wasserbilanz deckt nicht alle relevanten Prozesse ab; oder • Wasserbilanz ist nicht plausibel.
C3 Unbehandeltes Sickerwasser		
C31 Datenlage: Sind über eine längere Zeitspanne regelmässige Analysen in sämtlichen Kompartimenten durchgeführt worden?	• Zeitreihe vollständig und regelmässig; und • Resultate verwertbar (≥ 1 Kampagne pro Jahr über die gesamte Betriebsdauer, mind. über 3 – 4 J.).	• Daten vorhanden, jedoch unvollständig (< 1 Kampagne pro Jahr); oder • in unregelmässigen Zeitabständen.
C32 Mengenmessung Sickerwässer: Werden die Mengen aller Sickerwässer aus den Kompartimenten und die Gesamtmenge des Sickerwasseranfalls regelmässig gemessen?	Regelmässige Mengenmessungen.	Unregelmässige oder keine Mengenmessungen.
C33 Erfasste Parameter im Sickerwasser: Werden alle relevanten Parameter gemäss Anhang A-2 erfasst?	Ja.	Nein.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
<p>C34 Qualität der Probenahme und Analysen: Werden die Anforderungen an die Probenahme und die Analytik gemäss Vollzugshilfe [7] erfüllt?</p> <p>C35 Konzentrationen im Sickerwasser (Ist-Zustand, nach Deponieabschluss und nach Ende Nachsorgephase): Werden im Ist-Zustand und mit grosser Wahrscheinlichkeit nach Deponieabschluss sowie nach Ende der Nachsorgephase die numerischen Kriterien gemäss Anhang A-4 eingehalten?</p> <p>C36 Behandlung: Wird das Sickerwasser, allenfalls vor Ort, behandelt?</p> <p>C37 Andere gesammelte Wässer: Sind in weiteren gesammelten Wässern wie Sauber- oder Hangwässern Deponieeinflüsse bemerkbar? Erfüllen diese Wässer die Anforderungen an die Einleitung gemäss GSchV?</p>	<p>Ja.</p> <p>Konzentrationen aller Parameter sind < numerische Kriterien (Anhang A-4).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ja, das Sickerwasser wird behandelt; und • die Anforderungen an die Einleitung in Oberflächengewässer bzw. an die Einleitung des Sickerwassers in die öffentliche Kanalisation (GSchV) werden eingehalten. • Die Wässer zeigen keinen Deponieeinfluss; und • die Anforderungen an die Einleitung nach GSchV sind erfüllt. 	<p>Nein.</p> <p>Konzentrationen eines oder mehrerer Parameter > numerische Kriterien (Anhang A-4).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nein, das Sickerwasser wird nicht behandelt; oder • die Behandlung entspricht nicht dem Stand der Technik oder umfasst nur wenige Behandlungsschritte; oder • die Anforderungen an die Einleitung in Oberflächengewässer bzw. an die Einleitung des Sickerwassers in die öffentliche Kanalisation (GSchV) werden nicht eingehalten. • In den Wässern ist ein Deponieeinfluss bemerkbar (Abklärungsbedarf); oder • die Anforderungen an die Einleitung nach GSchV sind nicht erfüllt.
C4 Deponiekörper		
<p>C41 Temperatur des Deponiekörpers: Sind aus der Abfallzusammensetzung chemische Reaktionen und/oder höhere Temperaturen im Deponiekörper zu erwarten/ zu beobachten?</p> <p>C42 Setzungen / Sackungen: Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit von Setzungen/Sackungen?</p> <p>C43 Setzungsmessungen: Werden Setzungsmessungen durchgeführt und die Resultate ausgewertet?</p> <p>C44 Standsicherheitsberechnungen: * Sind Standsicherheitsberechnungen vorhanden und nachgeführt? Ist Hangwasserzutritt bzw. möglicher Einstau berücksichtigt?</p> <p>C45 Böschungen: Böschungsneigungen?</p> <p>C46 Wasserstauhorizonte: * Sind Wasserstauhorizonte oder ein Einstau des Abfallkörpers beobachtbar oder zu erwarten?</p>	<p>$T \leq 20^{\circ}\text{C}$.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Deponiekörper ist homogen und gut verdichtet und hat kein Gasbildungspotenzial. • Regelmässige Setzungsmessungen und Auswertungen; und • konstante, langjährige Datenlage. • Standsicherheitsberechnungen sind vorhanden, langfristig ausgelegt und nachgeführt. <p>$\leq 1:2.5 (\leq 22^{\circ})$.</p> <p>Keine Stauhorizonte oder kein Einstau im Deponiekörper zu erwarten.</p>	<p>$T > 20^{\circ}\text{C}$.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Deponiekörper ist inhomogen und/oder ungenügend verdichtet; oder • er hat Gasbildungspotenzial. • Keine verwertbaren Setzungsmessungen; oder • Daten sind vorhanden, jedoch unvollständig oder aus unregelmässigen Zeitabständen. • Keine Standsicherheitsberechnungen vorhanden; oder • Standsicherheitsberechnungen sind vorhanden, langfristig ausgelegt, jedoch nicht nachgeführt. <p>$> 1:2.5 (> 22^{\circ})$.</p> <p>Stauhorizonte oder Einstau im Deponiekörper nachgewiesen oder können nicht ausgeschlossen werden. Massnahmen wie Überwachung Böschungen, zusätzliche Entwässerungen im Deponiekörper etc. sind nicht getroffen.</p>

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
<p>C47 Stabilität des Deponiekörpers, Verschiebung des Deponiekörpers: * Sind geodätische oder Inklinometer-Messungen durchgeführt worden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Regelmässige Verschiebungsmessungen sowie Auswertungen; und • gute langjährige Datenlage, Mechanismen nachvollziehbar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine verwertbaren Verschiebungsmessungen; oder • Daten sind vorhanden, jedoch unvollständig oder in unregelmässigen Zeitabständen; oder • Mechanismen nur teilweise nachvollziehbar.
<p>C48 Verschiebungsmessungen Resultate: Deformationen in Richtung treibender Kraft</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bisher keine zunehmende Entwicklung (Akzeleration); und • In Zukunft keine absehbar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung nicht oder nur teilweise auswertbar; oder • in Zukunft Beschleunigung nicht auszuschliessen.
<p>C5 Kompartiment-Trennung <i>nur bei Deponien mit verschiedenen Kompartimenten</i></p>		
<p>C51 Vertikale Trennung der Kompartimente: Sind die Kompartimente mit Abfällen unterschiedlicher Qualität vertikal getrennt?</p>	Ja.	Nein, horizontale oder schiefe Trennung.
<p>C52 Horizontale Trennung: Schichtqualität: Qualität der oberen Abfallschicht?</p>	Das obere Kompartiment enthält nur Inertstoffe/Typ B Abfälle oder unverschmutzten Aushub (keine Schlacke, Reaktorstoffe o.ä.).	Das obere Kompartiment enthält nicht nur Inertstoffe/Typ B Abfälle oder unverschmutzten Aushub (auch Schlacke, Reaktorstoffe o.ä.).
<p>C53 Schiefe/horizontale Trennung: Setzungsverhalten?</p>	Das obere und das untere Kompartiment weisen ein ähnliches Setzungsverhalten auf.	Das obere und das untere Kompartiment weisen ein unterschiedliches Setzungsverhalten auf.
<p>C54 Trennschicht: Qualität und Aufbau der Trennschicht?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Dichte mineralische Trennschicht oder nachweislich gleichwertige Kompartiments-trennung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dichte Trennschicht, jedoch nicht mineralisch; oder • mineralische Trennschicht mit begrenzter Dichtigkeit; oder • nur durchlässige Trennschicht.
<p>C55 Entwässerung von Kompartimenten? *</p>	Kompartimente werden separat entwässert und können separat beprobt werden.	Kompartimente werden nicht separat entwässert oder können nicht separat beprobt werden.
<p>C6 Basisdrainage</p>		
<p>C61 Entwässerung in freiem Gefälle: *</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ableitung des Sickerwassers erfolgt im freien Gefälle bis zur Vorflut / ARA; und • Entwässerungsschicht sowie Entwässerungsleitungen weisen langfristig ein Gefälle $\geq 2\%$ auf. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ableitung des Sickerwassers erfolgt nicht oder nur teilweise im freien Gefälle bis zur Vorflut / ARA; oder • Entwässerungsschicht sowie Entwässerungsleitungen weisen langfristig ein Gefälle $< 2\%$ auf.
<p>C62 Basis- und Flankenentwässerung, Aufbau: * Konstruktiver Aufbau der Basis- und Flankenentwässerung?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Durchlässige Entwässerungsschicht an Basis und an Flanken; und • Mächtigkeit ≥ 30 cm an Basis; und • Leitungen: \varnothing innen ≥ 200 mm; und • HDPE; oder • es wurden nachweisbar gleichwertige bzw. weiterführende Massnahmen im Aufbau getroffen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Leitungen: \varnothing innen < 200 mm, oder • PE, PVC; oder • Leitungsumhüllung mit Drainmaterial; oder • Zerstörung Leitungen und Aufstau nachgewiesen respektive langfristig möglich.
<p>C63 Übergänge, Setzungsdifferenzen: Sind die Übergänge von weichem auf steifen Untergrund und Setzungsdifferenzen der Basisbarriere konstruktiv berücksichtigt (Abscheren Leitungen)?</p>	Ja.	Nein oder nur teilweise.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
C64 Leitungen: Sammelleitungen spül- und einsehbar?	<ul style="list-style-type: none"> • Auf der gesamten Länge spülbar; und • auf der gesamten Länge mit Kanalfernsehen einsehbar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht auf der gesamten Länge spülbar; oder • nicht auf der gesamten Länge mit Kanalfernsehen einsehbar.
Intervall für den Unterhalt der Leitungen?	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitreihe vollständig und regelmässig; und • Resultate verwertbar (≥ 1 Kampagne pro Jahr über die gesamte Betriebsdauer). 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine verwertbaren Angaben zum Leitungsunterhalt; oder • Daten vorhanden, jedoch unvollständig (< 1 Kampagne pro Jahr); oder • Leitungsunterhalt in unregelmässigen Zeitabständen.
C7 Schachtbauwerke		
C71 Begehbare Schrägschächte und Stollen, unterirdische Kammern: Allgemeiner Zustand?	Die Konstruktion weist keine oder sehr geringe Mängel auf (keine Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).	Die Konstruktion weist erhebliche Mängel auf (Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).
Schutz vor Kontakt mit Sickerwasser?	Oberflächenschutz Beton durch Anstriche, Beschichtungen, Kunststoffdichtungsbahn oder mineralischer Deckschichten vollumfänglich vorhanden.	Oberflächenschutz Beton nur teilweise oder gar nicht vorhanden.
Zustandskontrollen: Kontrolle der Baustoffe und der Ausführung?	<ul style="list-style-type: none"> • Zustandskontrollen in regelmässigen Intervallen; und • lückenlose Dokumentation während der gesamten Betriebsdauer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine oder nur unregelmässigen Zustandskontrollen; oder • Angaben zu Zustandskontrollen fehlen oder sind vorhanden, jedoch unvollständig.
Zuleitungen Sickerwasser siphoniert?	<ul style="list-style-type: none"> • Alle Zuleitungen sind siphoniert. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht alle Zuleitungen sind siphoniert; oder • ungenügende Siphonlängen.
C72 Begehbare Vertikalschächte: Allgemeiner Zustand?	Die Konstruktion weist keine oder sehr geringe Mängel auf (keine Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).	Die Konstruktion weist erhebliche Mängel auf (Sickerwasserzutritte, Risse oder Abplatzungen).
Schutz vor Kontakt mit Sickerwasser?	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenschutz Beton vollumfänglich vorhanden, oder • Ausführung in HDPE, GFK etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oberflächenschutz Beton nur teilweise oder gar nicht vorhanden.
Durchstanzen der Basisabdichtung?	Durchstanzen wird konstruktiv verhindert über eine Foundation oder über eine Verstärkung der Basisabdichtung.	Durchstanzen kann nicht ausgeschlossen werden.
Zustandskontrollen?	<ul style="list-style-type: none"> • Zustandskontrollen in regelmässigen Intervallen; und • lückenlose Dokumentation während der gesamten Betriebsdauer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine oder sehr unregelmässige Zustandskontrollen; oder • Angaben zu Zustandskontrollen fehlen oder sind vorhanden, jedoch unvollständig.
C8 Basis- und Flankenabdichtung		
C81 Konstruktiver Aufbau: Erfüllt die Konstruktion die technischen Anforderungen nach TVA/VVEA (Nachweise/Kontrolle bspw. in Anlehnung an Umsetzungshilfe SIA 203 [20])?	Die Basisabdichtung ist technisch objektiv nach TVA/VVEA erstellt worden.	Die Basisabdichtung entspricht nicht den Anforderungen von TVA/VVEA: <ul style="list-style-type: none"> • Foliendicke geringer; oder • Mächtigkeit der mineralischen Abdichtung geringer; oder • Durchlässigkeit grösser.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
C82 Konstruktiver Aufbau II: *	Die Basisabdichtung erfüllt Anforderungen nach C81 nicht, aber es wurden nachweisbar gleichwertige, weiterführende Massnahmen im Aufbau getroffen.	Basis- und Flankenabdichtung fehlen.
C83 Konstruktive und/oder betriebliche Massnahmen z. B. bei Einbau quellender Materialien, oder Schubkräfte auf Abdichtung?	Keine quellfähigen Materialien eingebaut bzw. geeignete Massnahmen gegen Verschiebungen durch Scherkräfte oder Schubkräfte getroffen.	Quellfähige Abfälle eingebaut bzw. keine konstruktiven Massnahmen gegen Verschiebungen getroffen.
C84 Übergänge: Sind die Übergänge von weichem auf steifen Untergrund konstruktiv berücksichtigt (Setzungsdifferenzen, Abscheren Dichtungen)?	Randbereiche sind verstärkt und Übergänge weich/steif sind kontinuierlich ausgebildet.	Übergänge sind nur teilweise mit besonderer Sorgfalt konstruiert und ausgeführt worden.
C85 Kontrollen: Wurden Wirksamkeit und Einbau kontrolliert und dokumentiert?	Die Angaben zu Anforderungs- und Qualitätskontrollen sind vollständig vorhanden und die Resultate zur Qualität sind verwertbar (QM-Plan vorhanden).	Es wurden keine Anforderungs- und Qualitätskontrollen durchgeführt oder die Angaben zu solchen sind vorhanden, jedoch unvollständig bzw. nicht verwertbar.
C86 Durchdringungen der Abdichtung: Durchdringen Bauwerke (Schächte, Gasbrunnen, Leitungen etc.) die Abdichtung?	<ul style="list-style-type: none"> Keine vertikalen Durchdringungen der Abdichtung vorhanden; und horizontale Durchdringungen sind speziell gesichert oder weisen ein Kontrollsystem auf. 	<ul style="list-style-type: none"> Vertikale Durchdringungen der Abdichtung sind vorhanden; oder horizontale Durchdringungen sind nicht speziell gesichert oder ohne Kontrollsystem.
C87 Kompartiments-Übergänge: Sind die Übergänge von einem Kompartiment zum andern bzw. von weichem auf steifen Untergrund konstruktiv berücksichtigt (Abscheren von Dichtungen)?	Übergänge weisen überlappende Kompartimentsabdichtungen auf, sind verstärkt und kontinuierlich ausgebildet.	Übergänge sind nur teilweise mit besonderer Sorgfalt konstruiert und ausgeführt worden.
C9 Deponiegas		
C91 Deponiegasproduktion: Wird Deponiegas produziert (Mehrphasenstadium)? Ist ein Potenzial für Deponiegasbildung vorhanden?	Nein, es wurden nachweislich nur Abfälle ohne Gasbildungspotenzial abgelagert.	Ein Gasbildungspotenzial ist möglicherweise vorhanden bzw. wird beobachtet.
C92 Aktive Entgasung: Ist aktive Entgasung notwendig?	<0.001 m ³ CH ₄ /m ² × h.	>0.001 m ³ CH ₄ /m ² × h.
C93 Gasaustritte: Werden Gasaustritte beobachtet? Erfolgt ein Monitoring?	Aktuelle regelmässige FID- Messungen an der Deponieoberfläche sind dokumentiert und ausgewertet (Gasbilanz/Gasprognose).	FID-Messungen wurden unregelmässig durchgeführt oder werden nicht ausgewertet.
C94 Toxische Spurengase: Gibt es Hinweise auf toxische Spurengase?	Keine Hinweise weder aufgrund des Abfallinventars noch aufgrund der Sickerwasseranalytik (erhöhte Werte leichtflüchtiger, persistenter Organikas).	Es gibt Hinweise aufgrund des Abfallinventars oder aufgrund der Sickerwasseranalytik.
C95 Explosionsschutz: Zoneneinteilung, Massnahmenplan?	Nachgeführter Zonen- und Massnahmenplan.	Nicht nachgeführte Pläne oder unvollständige Pläne.
C10 Oberflächenabschluss (Berücksichtigung der Rekultivierungsschicht)		
C101 Bewuchs: Wird Erosionsrisiko durch entsprechende Massnahmen eliminiert, sind Erosionen feststellbar?	Ja, und keine Erosionen feststellbar.	Nein, oder Erosionen feststellbar.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
<p>C102 Entwässerung der Oberflächenabdichtung zur Fassung des Oberflächenwassers: Aufbau der Entwässerungsschicht?</p> <p>Neigung der Entwässerungsschicht?</p> <p>C103 Oberflächenabdichtung Konvektionsdichte Oberflächenabdichtung (sofern wegen Abfallzusammensetzung, Sickerwasser- und Standorteigenschaften notwendig)?</p> <p>C104 Übergänge: Sind die Übergänge von einem Kompartiment zum andern sowie auf das gewachsene Terrain konstruktiv berücksichtigt?</p> <p>C105 Anderer nicht konvektionsdichter Oberflächenabschluss?</p>	<p>Entwässerungsschicht aus gut abgestuftem Kiessand oder Sand und Drainagerohre, soweit wegen Beschaffenheit Untergrund erforderlich, vorhanden. Zeilenabstand rel. gross.</p> <p>Neigung $\geq 4\%$.</p> <p>Die Konstruktion erfüllt die konstruktiven Anforderungen gemäss SIA 203 an eine Oberflächenabdichtung oder besteht aus nachweisbar gleichwertigen Massnahmen.</p> <p>Ja.</p> <p>Abfallzusammensetzung, Sickerwasser- und Standorteigenschaften erfordern keine Oberflächenabdichtung, oder das Kompartiment wurde nicht vor 1996 betrieben, oder es sind Zusatzmassnahmen zur Reduktion der Schadstoffmenge vorgesehen / im Gange.</p>	<p>Keine Entwässerungsschicht oder fehlende Drainagerohre.</p> <p>Neigung $< 4\%$.</p> <p>Die Konstruktion erfüllt die konstruktiven Anforderungen gemäss SIA 203 an eine Oberflächenabdichtung zumindest teilweise nicht oder ist nur teilweise gleichwertig.</p> <p>Nein oder nur teilweise.</p> <p>Erfüllt nebenstehende Voraussetzungen nur teilweise.</p>
C11 Untergrund (ungesättigte Zone)		
<p>C111 Mächtigkeit der ungesättigten Zone: Mächtigkeit von der Deponiesohle bis zum langjährigen maximalen Grundwasserspiegel?</p> <p>C112 Untergrund: Beurteilung des Untergrundes gemäss Anforderungen der TVA/VVEA an eine natürliche geologische Barriere?</p> <p>C113 Setzungsempfindlichkeit des Untergrunds, Karst: * Beurteilung der Setzungsempfindlichkeit des natürlichen Untergrunds?</p>	<p>Flurabstand ≥ 2 m.</p> <p>Die Anforderung gemäss Anhang 2 Ziffer 1 TVA resp. Anhang 2 Ziffer 1.2 VVEA sind erfüllt oder nachweislich zumindest gleichwertige Massnahmen wurden getroffen. Nachweise zur Standorteignung liegen vor (Geologie, Hydrogeologie, Baugrund, Setzungsverhalten).</p> <p>Untergrund ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fels; oder • vorbelastete Moräne mit sehr geringer Setzungsneigung, minimalen Setzungsdifferenzen; und • weder Karst noch stark geklüfteter Fels. 	<p>Flurabstand < 2 m.</p> <p>Die Anforderung gemäss Anhang 2 Ziffer 1 TVA resp. Anhang 2 Ziffer 1.2 VVEA sind nicht erfüllt noch wurden nachweislich gleichwertige Massnahmen getroffen; oder Nachweise zur Standorteignung liegen nicht vor (Geologie, Hydrologie, Baugrund, Setzungsverhalten).</p> <p>Untergrund ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> • unverfestigtes Lockergestein; oder • postglaziales Verlandungssediment o.ä. mit relevanter Setzungsneigung; oder • Karst oder stark geklüfteter Fels.
C12 Schutzgut Grundwasser und Wasserfassungen		
<p>C121 Nutzbares Grundwasser: * Ist nutzbares Grundwasser am Standort vorhanden?</p>	<p>Deponie liegt nicht über nutzbaren unterirdischen Gewässern sowie zu deren Schutz notwendigem Randgebiet (Gewässerschutzbereich A_U); und</p> <ul style="list-style-type: none"> • falls die Deponie im Zustrom eines nutzbaren unterirdischen Gewässers liegt, beträgt der Mindestabstand zu A_U: ≥ 200 m; und • falls die Deponie lateral zu einem nutzbaren unterirdischen Gewässer liegt, beträgt der Mindestabstand zu A_U: ≥ 50 m. 	<p>Deponie liegt über nutzbaren unterirdischen Gewässern oder zu deren Schutz notwendigem Randgebiet; oder</p> <ul style="list-style-type: none"> • falls die Deponie im Zustrom eines nutzbaren unterirdischen Gewässers liegt, beträgt der Mindestabstand zu A_U: < 200 m; oder • falls die Deponie lateral zu einem nutzbaren unterirdischen Gewässer liegt, beträgt der Mindestabstand zu A_U: < 50 m.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
<p>C122 Grundwasser-Überwachung: * (falls nutzbares Grundwasser vorhanden ist): Sind Überwachungspiezometer im Ober- und im Abstrom des Standortes vorhanden? Erlaubt der Ausbau und der Zustand der Piezometer eine repräsentative Probenahme?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestens 1 Piezometer im Oberstrom, 3 Piezometer im Abstrom; und • regelmässige Beprobung (≥ 1 Kampagne pro Jahr); und • repräsentative Probenahme gewährleistet. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Grundwasser-Überwachung; oder • ≤ 2 Piezometer im Abstrom; oder • unregelmässige Beprobung (< 1 Kampagne pro Jahr); oder • repräsentative Probenahme nicht gewährleistet.
<p>C123 Erfasste Parameter der Grundwasser-Überwachung: Werden alle relevanten Parameter gemäss Anhang 2 Analyseparameter Deponiemonitoring erfasst?</p>	Ja.	Nein.
<p>C124 Qualität der Probenahme und Analysen: Werden die Anforderungen an die Probenahme und die Analytik gemäss den Vollzugshilfen [7] und [12] erfüllt?</p>	Ja.	Nein.
<p>C125 Resultate der Grundwasser-Überwachung: * Ist das Grundwasser durch den Betrieb der Deponie unzulässig belastet? (Ist-Zustand, nach Deponieabschluss und Ende Nachsorgephase)</p>	Die numerischen Kriterien gemäss Anhang A-4 werden eingehalten.	Die numerischen Kriterien Anhang A-4 werden nicht eingehalten.
<p>C126 Grundwasserfassungen: Sind im Abstrom des Standorts Grundwasserfassungen öffentlichen Interesses oder zusammenhängende Grundwasservorkommen im Grundwasserschutzbereich A_U vorhanden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Nein; oder • Abstand zu Fassung oder Grundwasservorkommen im Abstrom ≥ 2000 m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ja; und • Abstand zu Fassungen oder Grundwasservorkommen im Abstrom < 2000 m.
C13 Schutzgut Oberflächengewässer		
<p>C131 Oberflächengewässer: * Abstand zu Oberflächengewässern?</p>	Eine Überschwemmung der Deponie oder des Deponiefusses durch Oberflächengewässer ist auch im Extremfall (Hochwasser mit Wiederkehrperiode 100 Jahre) ausgeschlossen; und	Eine Überschwemmung der Deponie, bzw. des Deponiefusses durch Oberflächengewässer ist nicht ausgeschlossen; oder
<p>Gefährdung durch diffuse Einträge von Sickerwässern und/oder durch erodierten Abfall (Erosion durch Oberflächenabfluss, Hangrutsch oder Wind)?</p>	eine Gefährdung durch diffuse Einträge von Sickerwasser und durch erodierten Abfall kann ausgeschlossen werden.	eine Gefährdung durch diffuse Einträge von Sickerwasser oder durch erodierten Abfall kann nicht ausgeschlossen werden.
<p>C132 Einleitung in Fließgewässer: Sind nach einer Verdünnung des Sickerwassers im Fließgewässer die Qualitätsanforderungen gemäss GSchV und [5] – unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung und ohne vorgängige Behandlung – bei der Abflussmenge Q_{347} erfüllt?</p>	Ja.	Nein.

	Bewertung «grün»	Bewertung «gelb»
C133 Einleitung in stehende Oberflächengewässer: Sind die Qualitätsanforderungen gemäss GSchV und [5] – unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung, unter Berücksichtigung der Wasser-Austauschrate sowie ohne vorgängige Behandlung – erfüllt?	Ja.	Nein.
C14 Schutzgut Boden		
C141 Rekultivierung/Boden (Landwirtschaft, Wald): Wird die Rekultivierungsschicht durch die Deponie (Gasaustritte, mangelhafter Wasserhaushalt, etc.) beeinträchtigt oder ist eine Beeinträchtigung zukünftig zu erwarten?	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuell ist keine Beeinträchtigung zu beobachten; und • zukünftig ist keine Beeinträchtigung zu erwarten. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Beeinträchtigung kann aktuell beobachtet werden; oder • zukünftig ist eine Beeinträchtigung zu erwarten.
C142 Nutzflächen in der nahen Umgebung der Deponie: Werden Nutzflächen in der nahen Umgebung der Deponie durch die Deponie negativ beeinflusst (z. B. Störung des Wasserhaushalt durch Oberflächenabfluss, Windverfrachtungen, etc.)?	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuell ist keine Beeinträchtigung zu beobachten; und • zukünftig ist keine Beeinträchtigung zu erwarten. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Beeinträchtigung kann aktuell beobachtet werden; oder • zukünftig ist eine Beeinträchtigung zu erwarten.

A-4 Hauptprüfung, numerische Kriterien

Parameter	Einheit	Sickerwasser		Grundwasser		Bemerkungen
		Kriterium Hauptprüfung Anhänge A-3	Referenz	Kriterium Hauptprüfung Anhänge A-3 ^{a)}	Referenz	
Feldparameter/Indikatoren						
pH	—	6.5 bis 9.0	GSchV		b)	
Leitfähigkeit	µS/cm	—			—	Qualitative Beurteilung der Emissionen der Deponie
RedOx-Potenzial	mV	—			—	RedOx-Verhältnisse bzw. deren Änderung
CSB (chemischer Sauerstoffbedarf)	mg O ₂ /l	—			—	Sauerstoffzehrung und RedOx-Verhältnis
Fe ²⁺ /Fe ³⁺ , Mn ²⁺	mg/l	—			—	RedOx-Verhältnisse bzw. deren Änderung
Sauerstoffkonzentration	mg O ₂ /l	—			—	Qualitative Beurteilung der Emissionen der Deponie
DOC	mg C/l	40	[5]		1	Sauerstoff-Zehrung (BSB5 ≈ 0.65 × DOC)
BSB5 (biologischer Sauerstoffbedarf)	mg O ₂ /l	20	GSchV	keine Messung		Sauerstoff-Zehrung (bei Einleitung in Oberflächengewässer)
Sickerwassermenge	l/s	—			—	Kontroll-Parameter Probenahme
Grundwasserspiegel	m ü.M.	—			—	Kontroll-Parameter Probenahme
Ungelöste Stoffe, Trübung	FNU	20	GSchV ^{c)}		c)	
Temperatur	°C	≤30	GSchV		—	
Anionen und Kationen						
Ammonium ^{d)}	mg NH ₄ ⁺ /l	5	AltIV		—	
Bor	mg B/l	0.5	[14]		—	
Nitrit ^{d)}	mg NO ₂ ⁻ /l	1	VVEA		—	
Nitrat ^{d)}	mg NO ₃ ⁻ /l	250	^{e)}		15	
Chlorid	mg Cl ⁻ /l	2500	^{e)}		20	GSchV ^{f)}
Bromid	mg Br ⁻ /l	—			—	Bei Einleitung in ARA (Ozonung)
Sulfat ^{d)}	mg SO ₄ ²⁻ /l	2500	^{e)}		20	GSchV ^{f)}
Phosphat ^{g)}	mg P/l	—			—	Bei Einleitung in stehende Gewässer
Cyanid (frei)	mg CN ⁻ /l	0.1	GSchV		0.005	AltIV
Weitere Anionen/Kationen	mg/l		^{h)}			ⁱ⁾
Metalle ^{j)}						
Antimon	mg Sb/l	0.1	AltIV		0.001	AltIV
Arsen	mg As/l	0.1	GSchV		0.005	AltIV
Blei	mg Pb/l	0.5	GSchV		0.005	AltIV
Cadmium	mg Cd/l	0.1	GSchV		0.0005	AltIV
Chrom	mg Cr/l	2	GSchV		0.005	TBDV
Chrom (VI)	mg Cr (VI)/l	0.1	GSchV		0.002	AltIV
Kobalt	mg Co/l	0.5	GSchV		0.2	AltIV
Kupfer	mg Cu/l	0.5	GSchV		0.15	AltIV

Parameter	Einheit	Sickerwasser		Grundwasser		Bemerkungen
		Kriterium Hauptprüfung Anhänge A-3	Referenz	Kriterium Hauptprüfung Anhänge A-3 ^{a)}	Referenz	
Nickel	mg Ni/l	2	GSchV	0.07	AltIV	
Quecksilber	mg Hg/l	0.01	AltIV	0.0001	AltIV	
Zink	mg Zn/l	2	GSchV	0.5	AltIV	
Zinn	mg Sn/l	—		2	AltIV	
Organische Schadstoffe						
VOCs (EPA 524)	mg/l	h) k)		j)		
KW C ₅ -C ₁₀ ^{m)}	mg/l	l)		0.2	AltIV	
KW C ₁₀ -C ₄₀ ^{m)}	mg/l	l)		—		
PAK	mg/l	h)		j)		
PCB ⁿ⁾	mg/l	0.001	AltIV	0.00001	AltIV	
Phenole	mg/l	—		—		Alkylphenole

— Kein numerisches Kriterium definiert.

- a Die Anforderungen beziehen sich auf die Zunahme der Konzentration im Grundwasser zwischen Ober-/Zustrom und Abstrom der Deponie.
- b Abweichung von 0.5 zum natürlichen Zustand.
- c **Sickerwasser:** Die Anforderungen an die Einleitung gemäss GSchV beziehen sich auf die Gesamtgehalte (nicht filtriert). Bei trüben Wasserproben darf durch die Filtration kein Schadstoffverlust auftreten. Bei trüben Proben (Trübung > 5 FNU) ist daher zusätzlich der Gesamtgehalt einer unfiltrierten Probe zu bestimmen.
Grundwasser: Bei der Schwermetall-Bestimmung in Grundwasser gelten die Anforderungen der Vollzugshilfe Messmethoden im Abfall- und Altlastenbereich (BAFU, 2017) [7].
- d Ammonium, Nitrit, Nitrat und Sulfat (und Sulfide) sind Parameter der RedOx-Reihe Nitrat ↔ Ammonium und Sulfat ↔ Sulfid. Die Verteilung dieser Parameter ist abhängig von den RedOx-Bedingungen.
- e Die Indikatorwerte SO₄ und Cl (40 mg/l) sind nicht unbedingt toxikologisch basiert. Untersuchungen zeigten, dass mehr als die Hälfte der Deponiesickerwässer das 10-fache dieses Indikatorwerts nicht einhalten, beim Nitrat ist dieses Problem geringer. Anbei wird insofern Bezug genommen auf den Wert von 250 mg/l (Geschmacks-/Korrosions – Relevanz) der WHO Guidelines for Drinking-Water Quality (WHO 2017). Die WHO Guidelines schlagen keine health-based values weder für Sulfat noch für Chlorid vor.
- f Weniger toxische Anionen analog den K-Wert Regeln mit 0.1-fachem Indikatorwert zu bewerten, wäre unverhältnismässig. Auf eine Modelldeponie angewendet entspricht bspw. eine Erhöhung im Grundwasserabstrom um den halben Indikatorwert (20 mg/l) einem Sickerwasserverlust von 5 – 10%.
- g Bei direkter Einleitung von Sickerwasser in Seen bzw. bei Einleitung in Seen via ARA sind P-Frachten unter Berücksichtigung des Wasseraustausches des Sees sowie der Hintergrundbelastung zu evaluieren.
- h Zehnfacher Indikatorwert Grundwasserqualität gemäss Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL, 2004) [14].
- i 50% des Indikatorwerts Grundwasserqualität gemäss Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL, 2004) [14].
- j Grundwasser: 10% des Konzentrationswerts gemäss Anhang 1 AltIV gilt für jeden Einzelstoff.
- k Die Summe leichtflüchtiger chlorierter Kohlenwasserstoffe wird auf 0.5 mg/l beschränkt; die Summe leichtflüchtiger aromatischer und aliphatischer Kohlenwasserstoffe (nicht-halogeniert) auf 10 mg/l.
- l Σ C₅-C₄₀: 10 mg/l.
- m Wasserlöslichkeit von Alkanen: Pentan C₅H₁₂: 40 mg/l, Hexan C₆H₁₂: 12 mg/l, Dekan C₁₀H₂₂: 0.05 mg/l.
- n Σ Isomere 28, 52, 101, 138, 153, 180 multipliziert mit dem Faktor 4.3.

Grundlagen

Anforderungen an die Qualität von Grundwasser:

- Konzentrationswerte gemäss Altlasten-Verordnung (Anhang 1 AltIV),
- Indikatorwerte Grundwasser gemäss Wegleitung Grundwasserschutz (BUWAL, 2004) [14],
- Anforderungen an Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist (Anhang 2 Ziffer 22 GSchV).

Einleitbedingungen in ein Oberflächengewässer:

- Anforderungen an die Einleitung in ein Gewässer (Anhang 3.3 Ziffer 25 GSchV sowie Anhang 3.2 GSchV),
- Anforderungen an die Einleitung von Deponiesickerwasser gemäss entsprechender Vollzugshilfe (BAFU, 2012) [5],
- Einleitbedingungen von weder in Anhang 3.3 Ziffer 25 GSchV noch in der Vollzugshilfe Anforderungen an die Einleitung von Deponiesickerwasser (BAFU, 2012) [5] erwähnten Verbindungen: Zehnfacher Konzentrationswert Wert gemäss Anhang 1 AltIV (in Anlehnung an die AltIV bzw. risikobasiert via Verdünnung im Gewässer).

Anforderungen an die Qualität von Oberflächengewässern:

- Anforderungen an die Wasserqualität von Fließgewässern (Anhang 2 Ziffer 12 GSchV),
- Modulstufenkonzept gemäss Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe (BAFU, 2010) [3].

A-5 Detailprüfung Erläuterung

Inhalt und Ziele einer Detailprüfung

In der Hauptprüfung wurden Aspekte identifiziert, welche auch unter Berücksichtigung des Gesamtsystems Deponie sowie deren Umgebung zu möglichen unzulässigen Emissionen führen könnten. In der Detailprüfung werden die möglichen Risiken der Deponie mithilfe von Emissionsprognose-Tools basierend auf Szenarien, z. B. bezüglich der Versagenswahrscheinlichkeit von technischen Deponiesystemen, abgeschätzt. Nachfolgend wird dazu ein mögliches Vorgehen skizziert und es werden einige Tools vorgestellt.

Das Ziel ist, die Risiken zu quantifizieren und zu entscheiden, ob heute Massnahmen implementiert werden müssen. Das generelle Vorgehen ist in Abbildung 9 im Haupttext skizziert.

Aufbau der Gefährdungsabschätzung (gemäss der Abb. 9 im Haupttext)

Abfallinventar

Für die Durchführung einer Emissionsprognose sind Informationen zu Qualität und Quantität der abgelagerten Abfälle notwendig (Schadstoffpotenzial). Bei Lücken müssen Annahmen getroffen werden. Aus Sickerwasserkonzentrationen lassen sich u. U. sinnvolle Extrapolationen auf eine Feststoffkonzentration durchführen; möglicherweise sind gewisse Abfallfraktion aber nicht im Sickerwasser sichtbar.

Sind die Materialkategorien gemäss TVA/VVEA (Inertstoffe, Rest- und Reaktorstoffe, Schlacke etc.) getrennt abgelagert worden, können sich aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der Abfälle unterschiedliche Milieubedingungen (z. B. pH-Wert, RedOx-Potenzial) in den entsprechenden Deponieteilen ausbilden. In diesem Fall können die Grenzwerte für die gemäss TVA/VVEA zugelassenen Abfälle als Maximalkonzentrationen für Schadstoffe beigezogen werden.

Je nach Alter einer Deponie kann jedoch nicht von der in der TVA/VVEA vorgesehenen Trennung der Abfälle ausgegangen werden. Es muss damit gerechnet werden, dass auch nichtkonforme Abfälle abgelagert wurden.

In alten Deponien dürfte deshalb ein sehr heterogenes Abfallinventar anzutreffen sein.

Leitparameter

Die für die Detailprüfung massgebenden Leitparameter von Deponiesickerwässern sind in Anhang A-2 (Analyseparameter Deponiemonitoring) zusammengestellt.

Bei Verdacht auf (ehemalige) Gewerbe- und Industriebetriebe in der Umgebung der Deponie ist eine Erweiterung der Sickerwasseranalytik im Rahmen der Detailprüfung zu prüfen.

Technische Bewertung der Systemkomponenten

Der Gutachter führt eine technische Bewertung der Systemkomponenten Oberflächen-, Basis- und Flankenabdichtung und Drainageleitungen durch. Damit können Versagenswahrscheinlichkeiten abgeschätzt bzw. verschiedene Szenarien zum Zustand der technischen Systeme nach Ende der Nachsorgephase aufgestellt werden. Ergänzende Messungen (z. B. Setzungsmessungen) oder Abklärungen (z. B. geotechnische Gutachten) können notwendig sein. Die folgenden Fälle sind möglich:

- *Versagen der Oberflächenabdichtung → Erhöhung der Sickerwassermengen,*
- *Versagen der Basisabdichtung → Emissionen in den Untergrund und ggf. ins Grundwasser,*
- *Versagen von Drainageleitungen → Emissionen in den Untergrund und ggf. ins Grundwasser,*
- *Abrutschen des Deponiekörpers/Deponiestirne → Emissionen in den Untergrund und ggf. ins Grundwasser; Emissionen von Abfällen ins Oberflächengewässer; Schäden an Deponiebauwerken.*

Die für die Gefährdungsabschätzung wichtigen Ergebnisse aus der technischen Bewertung der Systemkomponenten sind qualitative bzw. semi-quantitative Szenarien bezüglich der Sickerwasserbildung. Beispiele:

- *Das Aufkommen von Sickerwasser bleibt auf dem heutigen Niveau → Status Quo.*
- *Vollständiges Versagen der Systemkomponenten → Worst Case.*
- *Das Aufkommen von Sickerwasser erhöht sich um einen Faktor x gegenüber heute.*
- *Etc.*

Diese Szenarien werden in die Emissionsabschätzung übernommen. Die Anzahl der Szenarien soll beschränkt werden, um den Bewertungsaufwand im Rahmen zu halten. Unterschiedliche Szenarien geben jedoch einen Überblick über die Sensitivität des Systems und damit auch die Möglichkeit, das Risiko zu quantifizieren.

Emissionsprognose

Modellierung der zukünftigen Entwicklung der Schadstoff-Frachten

Deponieinhalte können zum Teil noch nicht vollständig stabilisiert sein. Eine Infiltration von Meteorwasser in Bereiche, welche bis heute wenig Kontakt mit Meteorwasser hatten, kann Transformationsprozesse wie biologischen Abbau (pH Änderung) oder chemische Prozesse (Erschöpfung der Pufferkapazität durch Infiltration von saurem Regen, Auflösung von Sekundärphasen) beschleunigen. Ferner können Schadstoffe zukünftig emittiert werden, welche heute im Sickerwasser noch nicht festgestellt werden.

Das Ergebnis der Emissionsprognose ist eine Abschätzung der Entwicklung der Sickerwasserbelastung als Funktion der Zeit.

Zur Abschätzung der Konzentrationsentwicklung von Schadstoffen in Deponiesickerwässern können verschiedene Modelle angewendet werden. Falls längere Zeitreihen von Sickerwasserdaten vorliegen, sollen die Modelle kalibriert werden. Anhang A-6 stellt die dazu notwendigen statistischen Tools für Trendanalysen zur Verfügung.

Nicht alle verfügbaren Methoden sind für alle Schadstoffe bzw. in allen Situationen geeignet. Im Folgenden werden mögliche Situationen aufgezeigt, welche einer differenzierten Modellwahl bedürfen.

Sorptionsverhalten von Schadstoffen

Schadstoffe können sich stark in ihrem Sorptionsverhalten und somit ebenfalls im Eluatverhalten unterscheiden, was die Wahl eines geeigneten Vorhersagetools beeinflusst:

- *Nicht-sorbierende Verbindungen wie Chlorid oder Sulfat sorbieren kaum an das Abfallmaterial → relativ einfach modellierbar.*

- *Organische Verbindungen sorbieren an das organische Material des Abfalls → modellierbar mit einem Tool wie TransSim [6].*
- *Metalle können abhängig vom pH ebenfalls an organisches Material wie auch an mineralische Oberflächen sorbieren → Die Modellierung ist anspruchsvoll; geochemisches Fachwissen ist erforderlich (vgl. auch Krümpelbeck 2000 [17], Laner 2010/11 [18], [19]).*

Fixe/variable Systembedingungen

Im Fall von fixen Systembedingungen kann mit Trendextrapolationen gearbeitet werden (vgl. unten). Sind die Systembedingungen jedoch variabel, z. B. bei veränderten Freisetzungsmechanismen (Änderung des Aufkommens von Sickerwasser, Wechsel zu aeroben Bedingungen, stark sinkender pH-Wert), sind alternative Modelle notwendig.

Trendextrapolationen

- *Langzeitdatenreihe von Sickerwasseranalysen vorhanden:*

Falls Langzeitdaten der Sickerwasserüberwachung vorhanden sind, können publizierte Fitmodelle für die Vorhersage der Qualität von Deponiesickerwässern angewendet werden (z. B. Laner et al. 2011 [19]). Solche Modelle sind für nicht-sorbierende Verbindungen anwendbar (vgl. Anhang A-6), für Schwermetalle jedoch nur bedingt. Die Anwendung wird zusätzlich anspruchsvoll, wenn sich der Sickerwasseranfall im Verlaufe der Zeit ändert.

- *Kurzdatenreihe von Sickerwasseranalysen vorhanden:* Die Sickerwasserkonzentration entspricht in diesem Fall einem «in-situ» Eluat der vom Sickerwasser durchströmten Abfälle. Mit einem virtuellen Eluattests lässt sich das Restschadstoffpotenzial grob abschätzen. Daraus kann mit geeigneten Modellen (z. B. TransSim) die zukünftige Entwicklung der Schadstoffbelastung im Sickerwasser modelliert werden.

- *Keine Sickerwasseranalysen vorhanden:*

In diesem Fall ist das Schadstoffpotenzial im Deponiekörper basierend auf dem Abfallinventar grob abzuschätzen (z. B. Schadstoffbelastung = maximal nach VVEA erlaubte Feststoffkonzentration). Grundsätzlich ist jedoch auch eine ergänzende Messkampagne zu prüfen.

Bei Schlackekompartimenten sind langfristig auftretenden Konzentrationserhöhungen von Schwermetallen nach einer pH-Senkung auffällig. Demgegenüber stabilisiert sich der pH-Wert bei Reaktorstoffkompartimenten im zeitlichen Verlauf, wobei auch die Ammonium- und DOC-Emissionen sinken. Bezüglich zeitlicher Aspekte der verschiedenen Deponiephasen gibt die Literatur kaum eindeutige Zeitintervalle an. Grösstenteils fehlen auch Erfahrungswerte abgeschlossener Deponien > 25 Jahre. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen schematisch die Entwicklung der Schadstoffbelastung im Sickerwasser von Deponien des Typs D (Schlackedeponien/-kompartimente) und E (Reaktorstoffdeponie/-kompartimente). Die Konzentrationsverläufe in den Darstellungen sind zwangsläufig teilweise modelliert und entsprechend kritisch zu betrachten. Für weitere Erläuterungen sei auf die zitierte Literatur verwiesen.

Präferenzielle Fliesswege

In Deponiekörpern bilden sich ausgeprägte präferenzielle Fliesswege aus. Beim Versagen einer Abdeckung können daher Zonen im Deponiekörper, welche bisher wenig durchströmt wurden, stärker erreicht werden, was eine Erhöhung der Schadstoffmobilisierung zur Folge haben kann. Dieser Aspekt ist in der Emissionsmodellierung zu berücksichtigen.

Havarieszenarien

Falls die Deponie in einem Überschwemmungsgebiet liegt, sind diesbezüglich Havarieszenarien zu betrachten.

In seltenen Fällen kann die Deponiesohle bei Grundwasserhochstand eingestaut werden. Auch in diesem Fall sind entsprechende Havarieszenarien miteinzubeziehen (vgl. Hauptprüfung Anhänge A-3.1/A-3.2, Kriterium B111 respektive C111).

Relevanz der Schutzgüter

Oberflächengewässer und Grundwasser stellen in der Regel bezüglich Deponieemissionen die relevanten Schutzgüter dar. Staubemissionen und gasförmige Emissionen können v. a. im Bereich von Siedlungen bedeutend sein. Nach Laner et al. [19] ist die Luft als Schutzgut weniger relevant, da nach einer Nachsorgezeit von 50 Jahren nur noch mit untergeordneten Gasemissionen zu rechnen ist. Boden ist bei Havarien sowie Rutschungen

des Deponiekörpers als Schutzgut wichtig. Staubemissionen sind speziell zu betrachten.

Die betroffenen Schutzgüter sind in diesem Schritt genauer zu charakterisieren (Grundwasser: Mächtigkeit, Flurabstand, Fliessgeschwindigkeit; Oberflächengewässer: Abfluss, Abstand zur Deponie, allgemeine Wasserqualität).

Modellierung des Schadstofftransports zum Schutzgut

Schadstoffe können durch verschiedene Prozesse ins Schutzgut gelangen. Dazu sind vom Gutachter verschiedene Szenarien zu erstellen:

- *Infiltration von Sickerwasser ins Grundwasser direkt am Standort,*
- *Infiltration von Sickerwasser bei Ausfall (Undichtigkeit) der Leitungen zum Vorfluter oder in die Kläranlage,*
- *Einleitung von Sickerwasser in einen Vorfluter (Annahme: nach Ende der Nachsorgephase, ohne Sickerwasserbehandlung),*
- *Überschwemmung des Deponiekörpers,*
- *Abrutschen des Deponiekörpers in ein Oberflächengewässer,*
- *etc.*

Die Emission von Schadstoffen via Sickerwasser ins Grundwasser dürfte in vielen Fällen der relevanteste Prozess sein. Mit dem für die Sickerwasserprognose entwickelten Simulationsmodell TransSim [6] kann der Transport von Schadstoffen durch die ungesättigte Zone wie auch der Transport im Grundwasser modelliert werden. Für Schwermetalle ist TransSim jedoch nur beschränkt geeignet.

Der Transport von Sickerwasser zum Schutzgut wird durch Sorptions-, Abbau- und Verdünnungsprozesse beeinflusst: Die Schadstoffkonzentrationen werden beim Transport zu den Schutzgütern durch Natural Attenuation Prozesse wie Sorption oder biologischen Abbau reduziert. Wie stark diese Prozesse die Schadstoffbelastung verringern, hängt entscheidend von den Standortfaktoren ab. Mitunter kann der ungesättigte Bereich direkt unterhalb der Deponie eine Pufferkapazität bezüglich Schadstoffen aufweisen und es kann sich ein effizienter biologischer Abbau im ungesättigten wie im gesättigten Bereich etablieren. Die Sorption kann durch geeignete Modelle

Abbildung 5-1

Entwicklung der Schadstoffbelastung im Sickerwasser von Deponien Typ D/Schlackedeponien nach [19] (schematisch).

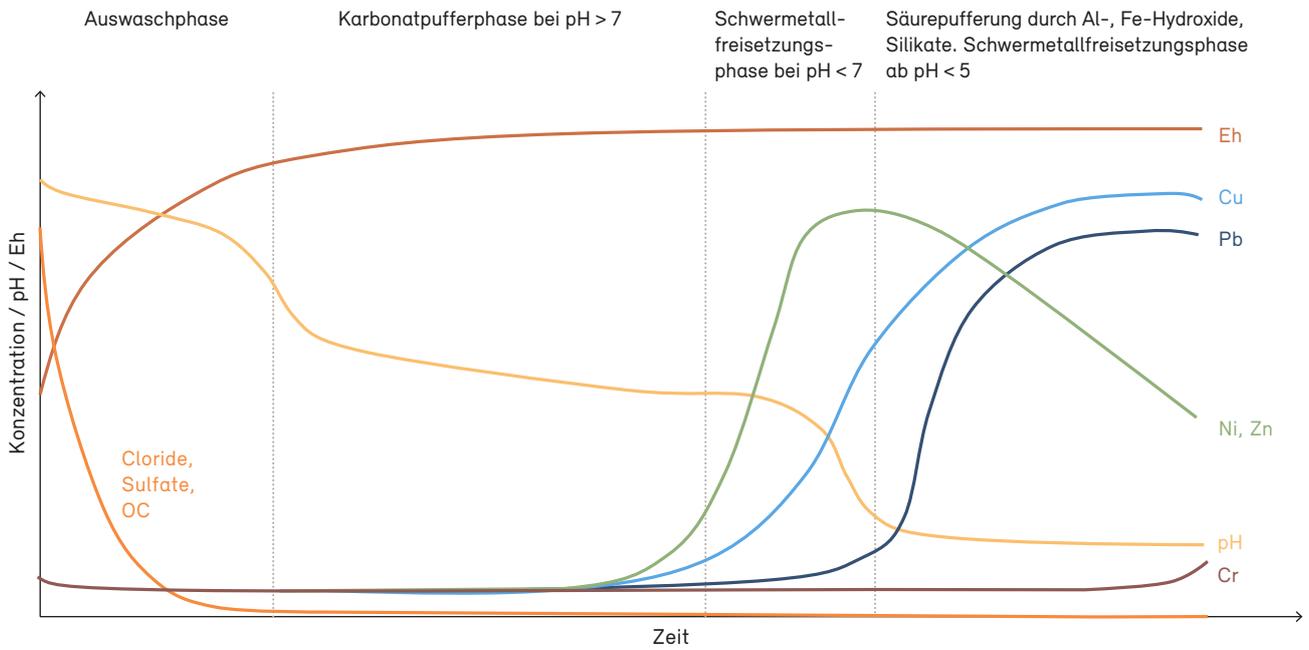
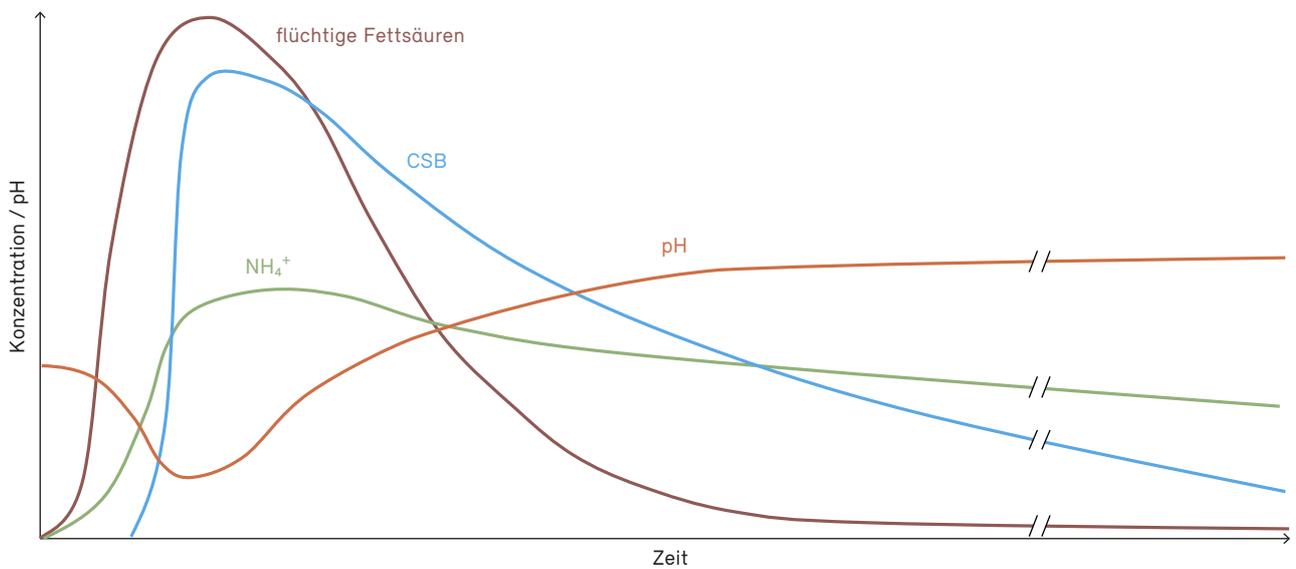


Abbildung 5-2

Entwicklung der Schadstoffbelastung im Sickerwasser von Deponien Typ E/Reaktorstoffdeponien nach [17] (schematisch).



quantifiziert werden; die biologische Abbaukapazität kann lediglich basierend auf Messdaten vom Standort approximiert werden.

Einordnung der Gefährdung und Gesamtbeurteilung

Zur Einordnung der Gefährdung werden die prognostizierten Konzentrationen in den Schutzgütern mit den tolerierbaren Konzentrationen verglichen. Denkbar ist auch, dass von den tolerierbaren Konzentrationen in den Schutzgütern auf maximal mögliche Konzentrationen im Sickerwasser rückgerechnet wird.

In den Gewässern gelten die Anforderungen insbesondere der GSchV. Für Schadstoffe ohne Grenzwerte sind vom Gutachter solche Werte herzuleiten [8].

Die Gefährdungsabschätzung zeigt auf, ob auch nach der Nachsorgephase mit schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf die Umwelt zu rechnen ist. Basierend auf den identifizierten Problembereichen der Deponie sollen bei Bedarf Massnahmen zur Reduktion des Gefährdungspotenzials unter Berücksichtigung des Kosten-/Nutzeneffekts erarbeitet werden – als Entscheidungsgrundlage für die zuständige Behörde.

A-6 Statistische Datenauswertung

Datenbasis

Um im Rahmen der Haupt- wie auch der Detailprüfung robuste Aussagen hinsichtlich Gefährdung durch die Deponie nach deren Abschluss sowie Ende der Nachsorgephase machen zu können, ist ein möglichst lückenloser Datensatz als Beurteilungsbasis notwendig. Im Haupttext der Vollzugshilfe werden die Anforderungen an das Monitoring definiert.

Nachfolgend werden einige statistische Tools vorgestellt, auf deren Basis die vorhandenen Monitoring-Daten ausgewertet und interpretiert werden. Aufgrund der sehr individuellen und diversen Datensätzen der Deponien werden an dieser Stelle keine verbindlichen Vorgehenskonzepte beschrieben *Es obliegt der Verantwortung des Gutachters, die vorhandenen Daten adäquat auszuwerten.*

Grundsätzlich sind zwei Arten von Auswertungen relevant:

- a. Bewertung des Ist-Zustands
 - Vergleich der Sickerwasserkonzentrationen mit den numerischen Anforderungen der Prüfschritte,
 - Vergleich der Grundwasser-Konzentrationen mit den numerischen Anforderungen der Prüfschritte; dazu sind die Belastungen des Grundwassers im Oberstrom zu berücksichtigen.
- b. Trendanalysen und Trendextrapolationen aus langjährigen Messreihen
 - Interpretation der Trendentwicklung der letzten Jahre,
 - Extrapolation von Trends in die Zukunft.

Schwankungen und Ausreisser

Datenreihen von Deponiesickerwässern können erfahrungsgemäss stark schwanken. Neben messtechnisch bedingten Ausreissern (Messfehlern, vgl. unten) können diverse Aspekte einen Einfluss auf die Konzentrationen insbesondere im Sickerwasser haben (Auswahl):

- hohe Frachten bei aussergewöhnlichen Niederschlagsereignissen (hohe Wassermengen können auch zu Verdünnungseffekten führen),
- Kontakt mit Deponiesohle bei sehr hohen Grundwasser-Ständen,
- kurzzeitige Frachtpeaks nach Verdichtung von Abfällen,
- Änderung in der Qualität der eingelagerten Abfälle,

- (Teil-)Abschluss von Kompartimenten,
- Ausbildung präferentieller Fließwege etc.

Messfehler können wie folgt entstehen:

- falsch kalibrierte Sonden und Laborgeräte,
- Ables- und Übertragungsfehler im Labor sowie im Feld,
- unregelmässige Messung der gelösten und partikulären Fraktion bei Schwermetallen,
- unsorgfältige Probenahme bei flüchtigen Verbindungen,
- Matrixeffekte durch hohe Salzgehalte in Sickerwässern etc.

Um eine Verfälschung von Aussagen durch Ausreisser oder starke Schwankungen zu vermeiden, sind die folgenden Vorgehensweisen denkbar:

- Plausibilisierung des Datenpunktes: Original-Analysenberichte und Informationen aus Probenahmeprotokollen können die Ursache von Ausreissern aufzeigen.
- Verwendung von Medianwerten: Die einfachste Art, Streuungen in Datensätzen zu egalisieren, ist die Verwendung von Medianen anstatt von Mittelwerten.
- Elimination von Ausreissern: Mit dem «Dixon's Q-Test» können Ausreisser statistisch identifiziert werden. Dieser Test ist jedoch mit Vorsicht anzuwenden: i) der Test darf nur einmal pro Datensatz angewendet werden ii) der Test soll nur zur Identifikation von Ausreissern und nicht zu deren Elimination angewendet werden. Ein identifizierter Ausreisser ist zu plausibilisieren.
- Gleitende Mittelwerte: die Verwendung gleitender Mittelwerte eignet sich zur Glättung von Datenreihen, welche einem saisonalen Einfluss unterliegen (z. B. saisonal variierender Sickerwasseranfall und Grundwasserstände). Die Glättung von Datenreihen ohne offensichtliche Periodizität ist nicht sinnvoll; zudem gehen bei der Glättung Datenpunkte verloren, welche für statistische Tests nutzbar sind.
- Betrachtung von Frachten anstatt Konzentrationen: Höhere Schadstoffkonzentrationen können mit tiefen Grundwasserständen im Winter einhergehen (geringere Verdünnung des Sickerwassers). Oder aber bei höheren Grundwasserständen werden Schadstoff-Pools in der Mischzone erreicht, was zu erhöhten Konzentrationen führt. In diesen Fällen macht ein Vergleich von Frachten anstatt von Konzentrationen Sinn.

Aufgrund des technischen Fortschritts konnten analytische Bestimmungsgrenzen (BG) in den letzten Jahren kontinuierlich gesenkt werden. Es ist also möglich, dass in einem langjährigen Datensatz neuere Werte mit tieferen BGs vorhanden sind. V.a. bei organischen Spezies ist es daher möglich, dass in früheren Messungen die Konzentrationen unter der BG, heute jedoch oberhalb der BG liegen. Falls die BGs von Parametern oberhalb der Kriterien der Hauptprüfung lagen und keine aktuellen Messungen bei tieferen BG verfügbar sind, sind im Rahmen des zukünftigen Monitorings mindestens 2 Kontrollmessungen durchzuführen.

Bewertung des Ist-Zustands

Gemäss Konzept sind die aktuellen Sicker- und Grundwasserkonzentrationen mit den numerischen Kriterien der Hauptprüfung zu vergleichen.

Sickerwasser

Ein Vergleich des letzten gemessenen Datenpunktes mit der Qualitätsanforderung ist wenig aussagekräftig. Sinnvoller ist ein Vergleich mit dem Median-Wert der Messungen aus den letzten 3 – 4 Jahren. Dabei sollte die Datenreihe vorgängig auf das Vorhandensein von Trends untersucht werden (vgl. Abschnitt Trendanalysen/-extrapolation).

Grundwasser

Mögliche Belastungen im Oberstrom sind vor dem Vergleich mit den Anforderungen von den Abstrom-Konzentrationen abzuziehen. Dazu wird die Differenz zwischen dem Median des Oberstroms und dem Median des Abstroms gebildet (Abbildung 6-1). Der Median umfasst eine Überwachungsperiode von mindestens 3 bis 4 Jahren.

Die Messwerte, welche zur Medianbildung herangezogen werden, können substantielle Schwankungen aufweisen. Deshalb muss vorgängig abgeklärt werden, ob sich die beiden Mediane statistisch signifikant unterscheiden. Im Prinzip würde sich der «t-Test» zum Vergleich der Mediane eignen. Da jedoch starke Schwankungen die Teststatistik stören, wird die Durchführung des relativ einfachen, nichtparametrischen Wilcoxon-Tests (*Vorzeichen-Rangtest*) empfohlen. Im Gegensatz zum «t-Test» arbeitet der Vorzeichen-Rangtest nicht direkt mit den numerischen Werten der Datenpunkte, sondern ordnet diese lediglich nach deren Grösse. Dadurch wird der Test unempfindli-

cher gegen Ausreisser. Leichte parallele Trends im Ober- und Abstrom stören diesen Test zudem kaum. Zudem nimmt der «t-Test» eine Normalverteilung der Daten an, dagegen ist der Wilcoxon-Test «verteilungsfrei». Ein Beispiel findet sich unten. In den meisten Fällen unterscheiden sich die Mediane jedoch sehr deutlich (oder der relevante Parameter ist im Oberstrom nicht vorhanden), so dass kein Test notwendig ist.

Trendanalysen und Trendextrapolation

Trendanalysen und -extrapolationen sind wichtige Tools zur Vorhersage des Verhaltens einer Deponie in der Zukunft. Die Aussagekraft einer Trendanalyse hängt nicht nur von der Anzahl an Datenpunkten, sondern auch von deren zeitlichem Abstand ab. Sechs Datenpunkte sind das Minimum für eine sinnvolle Trendanalyse. Ferner macht eine Trendanalyse von Daten aus den letzten 3 Jahren bei einer Deponie aus den 90er Jahren wenig Sinn. Dies hat der Gutachter entsprechend zu berücksichtigen.

Bei Schadstofftrends über die Monitoringperiode werden folgende Fälle unterschieden:

- **Verlauf A:** Die Schadstoffkonzentrationen überschreiten das Qualitätskriterium.
- **Verlauf B:** Die Konzentrationen steigen relativ zum Überwachungsbeginn substantiell an. Es ist damit zu rechnen, dass das Qualitätskriterium in Zukunft überschritten wird.
- **Verlauf C:** Die Konzentrationen nehmen relativ zum Überwachungsbeginn substantiell ab. Es ist nicht damit zu rechnen, dass das Qualitätskriterium in Zukunft überschritten wird.
- **Verlauf D:** Die Schadstoffkonzentrationen ändern sich nicht substantiell und liegen auf einem niedrigen Niveau.

Nicht immer sind Trends so eindeutig wie der Verlauf C in Abbildung 6-2. Zur statistischen Bestätigung eines Trends wird deshalb eine Regressionsanalyse durchgeführt. (siehe Beispiel unten → Trendanalyse).

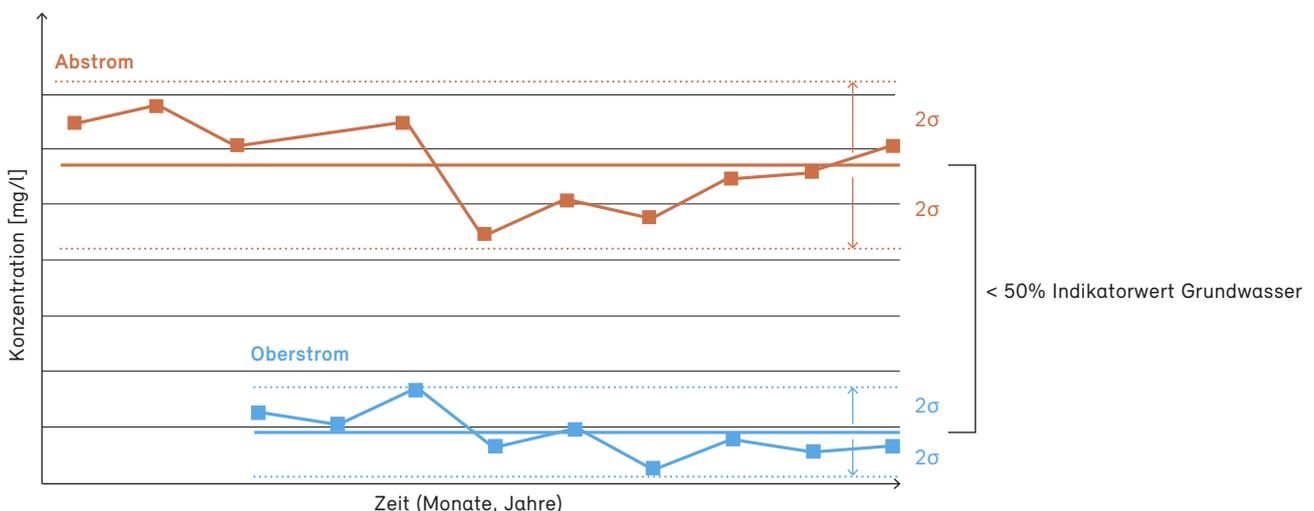
Anwendungsbeispiele

Beispiel gepaarter Wilcoxon-Test (Vorzeichen-Rangtest)

Um zu überprüfen, ob die Konzentration einer bestimmten Verbindung im Deponie-Oberstrom statistisch kleiner ist als im Deponie-Abstrom, wird im folgenden Beispiel ein gepaarter Test vorgeschlagen. Erst wenn die Konzentration

Abbildung 6-1

Vergleich Grundwasser im Ober- und Abstrom, schematisch.



rationen des Ober- und des Abstroms signifikant unterschiedlich sind, kann die Differenz der Mediane mit den Triagekriterien der Prüfschritte verglichen werden. Im Normalfall werden die Konzentrationen einer Verbindung im Deponie-Oberstrom und -Abstrom jährlich zur mehr oder weniger gleichen Zeit gemessen.

Der Wilcoxon Vorzeichen Rangtest wird hier am konkreten Fallbeispiel von Chlorid (Cl) Konzentrationen im Ober- bzw. Abstrom einer Deponie erklärt.

Ausgangslage: Zur Abschätzung eines möglichen Einflusses einer Deponie auf das Grundwasser (d. h. Sickerwasser-Austritt) wurde die Cl-Konzentration im Oberstrom und im Abstrom der Deponie über die vergangenen Jahre mehrmals gemessen. Abbildung 6-3 zeigt die Entwicklung der Cl-Konzentration im Ober- (blau) und im Abstrom (orange). Nun stellt sich die Frage, ob die Cl-Konzentrationen im Deponie-Oberstrom signifikant kleiner sind als im Deponie-Abstrom. Um diese Frage zu beantworten, wird nachfolgend ein Vorzeichen Rangtest schrittweise durchgeführt.

1) Aufstellen der Test Hypothesen:

Vor jedem statistischen Test werden zunächst eine sogenannte Nullhypothese und eine Alternativhypothese

definiert, wobei festgehalten wird, was mit dem statistischen Test geprüft werden soll. Die Nullhypothese sagt häufig aus, dass zwischen den zwei Testgruppen kein Unterschied besteht. Auf das vorliegende Beispiel bezogen heisst das, dass die Cl-Konzentrationen im Deponie-Oberstrom und -Abstrom gleich gross sind und, dass folglich kein zusätzlicher Cl-Eintrag ins Grundwasser durch die Deponie stattfindet.

Nullhypothese: $H_0: C_{\text{Oberstrom}} = C_{\text{Abstrom}}$

Cl-Konzentration im Deponie-Oberstrom ist **gleich gross** wie die Cl-Konzentration im Abstrom: $\theta = 0$

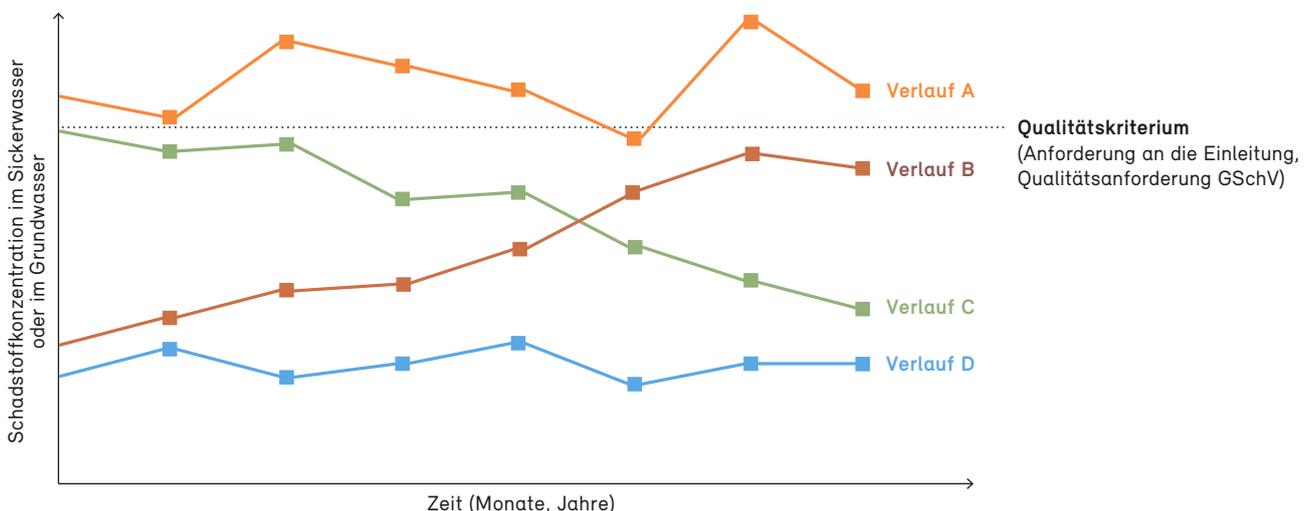
Ab einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsgrenze (Signifikanzniveau) wird die Nullhypothese verworfen, so dass die Alternativhypothese als Möglichkeit übrigbleibt. Im vorliegenden Beispiel wird geprüft, ob die Cl-Konzentration im Abstrom grösser ist als im Oberstrom. Folglich lautet die Alternativhypothese wie folgt:

Alternativhypothese: $H_1: C_{\text{Oberstrom}} < C_{\text{Abstrom}}$

Cl-Konzentration im Oberstrom ist **kleiner** als die Cl-Konzentration im Abstrom. D.h. die Differenz θ ist negativ.

Abbildung 6-2

Mögliche Schadstoffverläufe im Sickerwasser oder im Grundwasser des unmittelbaren Abstroms.



2) Berechnen der Differenz für jedes Stichprobenpaar

Tabelle 6-1

Cl-Konzentrationsdifferenz für jedes Stichprobenpaar

Jahr	Chlorid Oberstrom (mg/l)	Chlorid Abstrom (mg/l)	Differenz
2000	22	23	-1
2001	19	40	-21
2002	16	49	-33
2003	13	25	-12
2004	12	60	-48
2005	16	16	0
2006	16	35	-19
2007	20	50	-30
2008	20	30	-10
2009	23	22	1
2010	18	17	1
2011	23	24	-1

3) Rangierung der berechneten Differenzen

Der nächste Schritt ist die Rangierung aller Differenzen. Dabei wird zunächst der absolute Differenzwert aufsteigend sortiert und dann wird jedem Stichprobenpaar einem Rang zugeordnet (siehe Tabelle 6-2).

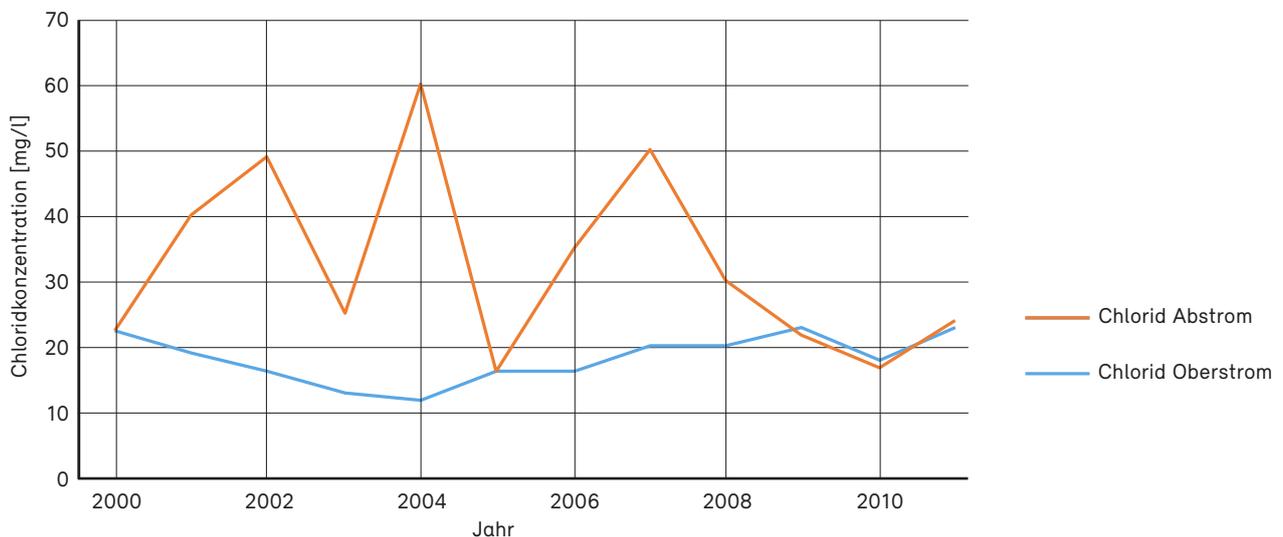
Tabelle 6-2

Rangierung der absoluten Cl-Konzentrationsdifferenz für jedes Stichprobenpaar

Jahr	Cl-Oberstrom (mg/l)	Cl-Abstrom (mg/l)	Differenz	Absolut	Rang
2000	22	23	-1	1	3.5
2001	19	40	-21	21	9
2002	16	49	-33	33	11
2003	13	25	-12	12	7
2004	12	60	-48	48	12
2005	16	16	0	0	1
2006	16	35	-19	19	8
2007	20	50	-30	30	10
2008	20	30	-10	10	6
2009	23	22	1	1	3.5
2010	18	17	1	1	3.5
2011	23	24	-1	1	3.5

Abbildung 6-3

Chlorid Konzentrationen im Grundwasser-Oberstrom (blau) bzw. -Abstrom einer Deponie (orange).



Wie in Tabelle 6-2 sichtbar wird, weisen mehrere Stichprobenpaare eine absolute Differenz von 1 auf. Da in diesem Fall keine unterschiedliche Reihenfolge vorliegt, müssen diese Werte auch gleichbehandelt werden. Diese Stichprobenpaare erhalten daher einen gemittelten Rang.

4) Berechnen der Teststatistik: Zuordnung des Vorzeichens und Summieren der Ränge

Die Teststatistik ist die Grösse, die in einem statistischen Test verwendet wird, um die Nullhypothese entweder beizubehalten oder zu verwerfen. Um die Teststatistik des Wilcoxon Vorzeichen-Rangtests zu berechnen, wird zunächst jedem Rang das Vorzeichen der entsprechenden Differenz angehängt (siehe Tabelle 6-3). Anschliessend werden alle positiven Ränge und alle negativen Ränge separat aufsummiert und damit die Teststatistiken W_+ und W_- ermittelt.

Tabelle 6-3

Anfügen des entsprechenden Vorzeichens an die ermittelten Ränge

Jahr	Cl-Oberstrom (mg/l)	Cl-Abstrom (mg/l)	Differenz	Rang	Neuer Rang ¹
2000	22	23	-1	-3.5	-2.5
2001	19	40	-21	-9	-8
2002	16	49	-33	-11	-10
2003	13	25	-12	-7	-6
2004	12	60	-48	-12	-11
2005	16	16	0	1	
2006	16	35	-19	-8	-7
2007	20	50	-30	-10	-9
2008	20	30	-10	-6	-5
2009	23	22	1	3.5	2.5
2010	18	17	1	3.5	2.5
2011	23	24	-1	-3.5	-2.5

¹ Korrektur, da die Messwerte aus dem Jahr 2005 identisch sind (Differenz=0).

Falls eine oder mehrere Differenzen = 0 sind, kann wie folgt vorgegangen werden:

1. Jeweils die Hälfte der zugehörigen Rangwerte werden zu W_+ bzw. zu W_- addiert.

2. Das Stichprobenpaar wird nicht im Test berücksichtigt und n wird entsprechend korrigiert (wurde in Tab. 6-3 durchgeführt).

$$W_+ = 2.5+2.5=5$$

$$W_- = 2.5+8+10+6+11+7+9+5+2.5=61$$

Falls die Nullhypothese (Konzentrationen im Oberstrom = Konzentrationen im Abstrom) zutreffen würde, müssten sich die beiden Rangsummen W_+ und W_- in der gleichen Grössenordnung befinden.

Für die Ermittlung des p-Wertes (Kennzahl zur Auswertung des Tests) wird die Teststatistik (W_+ oder W_-) gewählt, die den kleineren Wert aufweist; hier ist es $W_+ = 5$. Tabelle 6-4 beinhaltet die p-Werte für einseitige Tests auf dem Signifikanzniveau von 5%. Falls der Wert der Teststatistik (d.h. W) kleiner ist als der tabellierte kritische Wert, dann kann die Nullhypothese verworfen werden. Im vorliegenden Fall ist $W=5$ und $n=11$ (der Wert 2005 wurde ausgeschlossen); W ist < 13 , also kann die Nullhypothese verworfen werden → die Cl-Konzentration im Deponie-Oberstrom ist statistisch kleiner als die Cl-Konzentration im Deponie-Abstrom.

Für die Deponie bedeutet dies, dass nun Mediane z. B. aus den Daten der letzten 3–4 Jahre gebildet werden können. Die Differenz der Mediane Ober- und Abstrom können nun mit dem Grundwasser-Kriterium der Hauptprüfung verglichen werden ($\Delta 20$ mg Cl/l).

Tabelle 6-4

n ist die Stichprobengrösse der zwei Testgruppen und W entspricht dem kritischen Wert der Teststatistik. Diese Tabelle ist allgemeingültig verwendbar

Stichprobengrösse (n) versus kritischer Wert der Teststatistik (W)										
n	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
W	2	3	5	8	10	13	17	21	25	30
n	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
W	35	41	47	53	60	67	75	83	91	100
n	30	35	40	45	50					
W	151	213	286	371	466					

Alternative: Durchführung des Wilcoxon Vorzeichen Rangtests mit dem Statistikprogramm R

Die meisten Statistikprogramme enthalten Funktionen, um den Wilcoxon Test durchzuführen. Im Statistikprogramm R wird der Wilcoxon Vorzeichen Rangtest wie folgt durchgeführt:

Input:

```
> a<-c(22,19,16,13,12,16,16,20,20,23,18,23)
> b<-c(23,40,49,25,60,16,35,50,30,22,17,24)
> wilcox.test(a,b,alternative="less",paired=TRUE)
```

In R muss die Alternativhypothese nur bei einem einseitigen Test definiert werden (hier: alternative =«less»), ansonsten wird defaultmässig ein zweiseitiger Test durchgeführt.

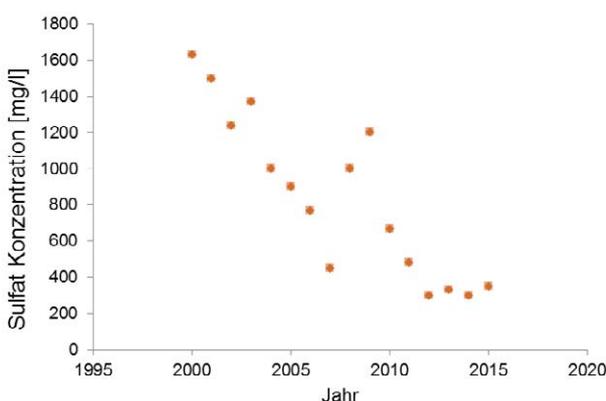
Output:

```
data: a and b
V = 5, p-value = 0.007001
alternative hypothesis: true location shift is less than 0
```

Wenn man das vorliegende Fallbeispiel mit R durchführt, kann die Nullhypothese ebenfalls verworfen werden. Der p-Wert beträgt hier 0.007.

Abbildung 6-4

Sulfat Konzentration in mg/l im Sickerwasser einer Deponie im Laufe der Zeit.



Beispiel Trendanalyse (lineare Regression)

Im Folgenden wird eine Trendanalyse mittels Excel am Fallbeispiel von Sulfat-Konzentrationen im Deponiesickerwasser schrittweise erklärt. Dabei wird getestet, ob sich die Sulfat-Konzentration (abhängige Variable) im Sickerwasser statistisch signifikant mit der Zeit (unabhängige Variable) verändert und somit ein Trend besteht. Abbildung 6-4 zeigt die Daten, welche für dieses Fallbeispiel verwendet werden. Die y-Achse repräsentiert die Sulfat-Konzentration in mg/l und die x-Achse entspricht der Zeit in Jahren.

Der Test besteht aus zwei Schritten 1) muss ein lineares Modell aufgestellt werden und 2) es muss getestet werden, ob die Steigung signifikant von 0 verschieden ist (steigender bzw. fallender Trend).

1) Aufstellen eines mathematischen Modells

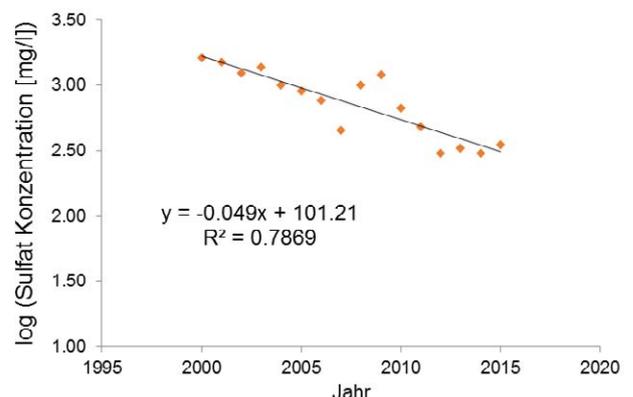
Der erste Schritt einer linearen Regression besteht darin, eine Gleichung für die gemessenen Daten zu formulieren. Allgemein lässt sich ein lineares Modell wie folgt beschreiben:

$$Y = aX + b$$

Wobei a der Steigung der Geraden entspricht und b der Achsenabschnitt ist. Da Umweltdaten (hier die Konzen-

Abbildung 6-5

Gerade mit den Parametern $a = -0.049$ und $b = 101.2$ wurde so durch die Datenpunkte (logarithmierte Sulfat Konzentration in mg/l) gelegt, dass die Summe der quadrierten Abweichungen der Datenpunkte zur Geraden minimiert wird.



tration von Sulfat im Sickerwasser) häufig log-normal verteilt sind, wird der vorliegende Datensatz zunächst logarithmiert (Abbildung 6-5).

Um die Parameter a und b so genau wie möglich aus den gegebenen Daten zu ermitteln, wird in der Statistik häufig die Schätzmethode der *Kleinsten Quadrate* verwendet. Excel führt die dafür notwendigen Berechnungen durch, wenn man auf der Grafik die Messpunkte anklickt, dann rechts klickt und die Option «Trendline hinzufügen» auswählt. Es öffnet sich ein neues Fenster, in dem man verschiedene Trendlinienoptionen auswählen kann. Für lineare Regression wählt man den Regressionstyp «linear» aus und wählt danach auch die Optionen «Formel im Diagramm anzeigen» und «Bestimmtheitsmass im Diagramm anzeigen» aus. Abbildung 6-5 wiedergibt die resultierende Gerade mit den entsprechenden Parametern a und b.

2) Statistischer Test für die geschätzten Parameter
 Im zweiten Schritt interessiert die Frage, ob die Steigung der Regression statistisch signifikant $\neq 0$ ist. Analog zum Vorgehen beim Wilcoxon Vorzeichen-Rangtest muss auch

hier zunächst eine Nullhypothese, eine Alternativhypothese und ein Signifikanzniveau definiert werden. Die Testhypothese wird wie folgt aufgestellt:

Nullhypothese $H_0: a = 0$

Die Steigung a ist gleich 0, deshalb gibt es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen X und Y und entsprechend auch keinen Trend.

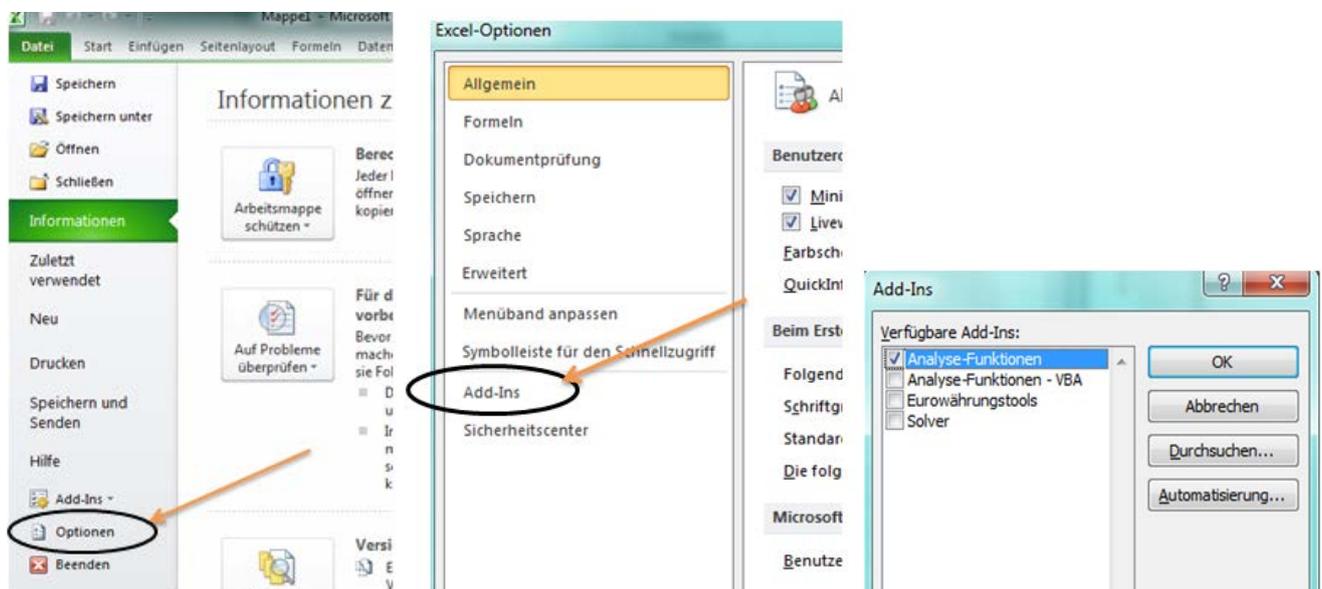
Alternativhypothese $H_1: a \neq 0$

Die Steigung a ist entweder grösser oder kleiner als 0, damit besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen X und Y. Es handelt sich hier um einen zweiseitigen Test.

Das Signifikanzniveau wird wiederum als $\alpha = 5\%$ definiert, was bedeutet, dass die Nullhypothese verworfen wird, falls der p-Wert kleiner als 0.05 ist. Um den p-Wert zu berechnen wird ein «t-Test» durchgeführt. Dieser ist rechnerisch eher aufwendig und wird deshalb nicht detailliert besprochen. Praktischerweise gibt es auf Excel ein Analyse Add-In, mit dem man den gesuchten p-Wert sehr einfach ermitteln kann.

Abbildung 6-6

Analyse Add-In in drei Schritten von links nach rechts.



Das Daten Analyse Add-In ist nicht standardmässig auf Excel aktiviert, kann aber folgendermassen hinzugefügt werden:

1. Excel Mappe öffnen
2. In der Rubrik «Datei» auf «Optionen» klicken
1. Es öffnet sich daraufhin ein neues Fenster, das «Excel-Optionen» heisst. Hier klickt man auf «Add Ins»
2. Unter dem Titel «Inaktive Anwendungs-Add-Ins» die Anwendung «Analyse-Funktionen» auswählen und auf «Gehe zu...» klicken.
3. Es öffnet sich ein «Add-Ins» Fenster, dort wählt man «Analyse-Funktionen» an.
4. Nun ist unter der Registerkarte «Daten», rechts oben ein neues Symbol, das mit «Datenanalyse» beschriftet ist, sichtbar.

Um nun die eigentliche statistische Datenanalyse durchzuführen geht man wie folgt vor:

1. Zuerst klickt man auf das neue Symbol «Datenanalyse»
2. Im Fenster «Analyse-Funktionen», welches sich daraufhin öffnet, wählt man die Funktion «Regression»
3. Für den Y-Eingabebereich werden hier die logarithmierten Sulfat-Konzentrationen im Sickerwasser ausgewählt (abhängige Variable) und für den X-Eingabebereich die Jahreszahlen (Zeit ist die unabhängige Variable). Wichtig ist, dass auch die Titel der jeweiligen Spalten ausgewählt werden und, dass das Feld «Beschriftungen» markiert ist. Dann auf OK klicken.
4. Daraufhin öffnet sich eine neue Mappe mit der statistischen Auswertung.

Abbildung 6-7
Installierter Datenanalyse-Button.



Abbildung 6-8
Durchführung einer linearen Regression – Schritt 1.

Jahr	Sulfat Deponie Sickerwasser [mg/l]	Sulfat Deponie Sickerwasser log[mg/l]
2000	1630	3.21
2001	1500	3.18
2002	1240	3.09
2003	1370	3.14
2004	1000	3.00
2005	900	2.95
2006	770	2.89
2007	450	2.65
2008	1000	3.00
2009	1200	3.08
2010	670	2.83
2011	480	2.68
2012	300	2.48
2013	330	2.52
2014	300	2.48
2015	350	2.54

Abbildung 6-9

Durchführung einer linearen Regression – Schritt 2.

Jahr	Sulfat Deponie Sickerwasser [mg/l]	Sulfat Deponie Sickerwasser log[mg/l]
2000	1630	3.21
2001	1500	3.18
2002	1240	3.09
2003	1370	3.14
2004	1000	3.00
2005	900	2.95
2006	770	2.89
2007	450	2.65
2008	1000	3.00
2009	1200	3.08
2010	670	2.83
2011	480	2.68
2012	300	2.48
2013	330	2.52
2014	300	2.48
2015	350	2.54

Excel hat einen «t-Test» für die Steigung a als auch für den Achsenabschnitt b durchgeführt und für jeden Parameter eine separate t-Statistik und einen p-Wert berechnet. Was im Rahmen dieser Trendanalyse speziell interessiert ist der p-Wert der Steigung, da dieser darüber bestimmt, ob die Nullhypothese ($\alpha = 0$) beibehalten oder verworfen wird. Der p-Wert ist im vorliegenden Fallbeispiel 2.59×10^{-5} und ist viel kleiner als das Signifikanzniveau von 0.05. Das bedeutet, dass die Nullhypothese verworfen werden kann und man aus dem durchgeführten Test schliessen kann, dass die Sulfat Konzentration im Sickerwasser der Deponie mit der Zeit statistisch signifikant abnimmt. Es liegt also ein abnehmender Trend vor.

Abbildung 6-10

Ausgabe der linearen Regression.

AUSGABE: ZUSAMMENFASSUNG					
Regressions-Statistik					
Multipler Ko	0.87				
Bestimmthe	0.76				
Adjustiertes	0.74				
Standardfeh	0.13				
Beobachtung	15.00				
ANOVA					
	Freiheitsgrade	adratsummen	Quadratsum	Prüfgröße (F)	F krit
Regression	1.0	0.7	0.7	40.1	2.59E-05
Residue	13.0	0.2	0.0		
Gesamt	14.0	0.9			
Koeffizienten tandardfehle t-Statistik P-Wert Untere 95% Obere 95%					
Schnittpunkt	101.93	15.64	6.52	1.95E-05	68.14 135.72
2000	-0.05	0.01	-6.34	2.59E-05	-0.07 -0.03

A-7 Inhalte der Prüfungsdokumentation

Vorprüfung

- Standortinformationen und Angaben zur Deponie und zum Deponiebetrieb, Hinweis auf offene Fragen und/oder fehlende Unterlagen. Ausgehend von vorhandenen Basisdaten gemäss Anhang A-1.
- Kurzbewertung des Prüfungsergebnisses durch den Gutachter: Vorliegen eines unkritischen Falls gemäss den Kriterien in Kapitel 3.2.
- Empfehlung des Gutachters an die kantonale Fachstelle zum weiteren Vorgehen.

Hauptprüfung

- Standortinformationen und Angaben zur Deponie und zum Deponiebetrieb, zum Betrachtungsrahmen generell – in Tabellenform, nachvollziehbare Dokumentation/Referenzierung der zusammengetragenen Informationen/Fakten, Hinweis auf offene Fragen und/oder fehlende Unterlagen. Ausgehend von vollständigen Basisdaten gemäss Anhang A-1.
- Angaben zu den Kriterien der kompletten Hauptprüfung gemäss Anhang A-3.1 respektive A-3.2 in Tabellenform.
- Diskussion von Abhängigkeiten von Kriterien der kompletten Hauptprüfung gemäss Erläuterung zu Hauptprüfung/Bewertungsmatrix (Anhang A-3), und profunde und nachvollziehbare Diskussion der als «gelb» beurteilten Kriterien.
- Kurzbewertung des Prüfungsergebnisses durch den Gutachter: Bewilligungsfähigkeit der Deponie gemäss den Kriterien in Anhängen A-3, A-3.1/3.2.
- Empfehlung des Gutachters an die kantonale Fachstelle zum weiteren Vorgehen und gegebenenfalls zu Massnahmen.

Detailprüfung

Der Gutachter erstellt einen Bericht zur Gefährdungsabschätzung im Rahmen der Detailprüfung gemäss Kapitel 3.4. Der Bericht fokussiert auf die Modellierung von Szenarien und die im Verlauf der Hauptprüfung erkannten Schwachstellen des Deponiesystems. Eine sorgfältige Dokumentation der Detailprüfung beinhaltet mindestens:

- Bewertung des Schadstoffpotenzials,
- Technische Bewertung der Systemkomponenten (ggf. Darstellung der Versagenswahrscheinlichkeiten / Prognosen in verschiedenen Szenarien (Status Quo, Worst Case, Best Case, ...),
- Emissionsprognose Sickerwasser,
- Schadstofftransport ins Deponieumfeld,
- Gefährdungsabschätzung Schutzgüter,
- Beurteilung (Synthese der Folgerungen, Abschätzung finanzielle Tragweite Risiko, Massnahmenvorschlag, Empfehlung zHd der Behörde).