

DIN EN 16907-7

ICS 93.020

Einsprüche bis 2019-04-01

Entwurf**Erdarbeiten –
Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16907-7:2019**

Earthworks –
Part 7: Hydraulic placement of extractive waste;
German and English version prEN 16907-7:2019

Terrassements –
Partie 7: Placement hydrauliques de déchets miniers;
Version allemande et anglaise prEN 16907-7:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-02-01 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 177 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16907-7:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-22 AA „Erdarbeiten (SpA zu CEN/TC 396 und CEN/TC 396/WG 1 bis WG 8), Gemeinschaftsausschuss mit FGSV“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Erdarbeiten — Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen

Terrassements — Partie 7 : Placement hydrauliques de déchets miniers

Earthworks — Part 7: Hydraulic placement of extractive waste

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Abkürzungen	12
5 Entwicklung von Projekten zur hydraulischen Einbringung	12
6 Bergbauhaldencharakterisierung	14
7 Materialcharakterisierung	15
7.1 Allgemeines	15
7.2 Phasen des Charakterisierungsprozesses	16
7.3 Geotechnische Charakterisierung	19
7.3.1 Allgemeines	19
7.3.2 Standortcharakterisierung: Gründungsmaterialien und Baustoffe	19
7.3.3 Charakterisierung mineralischer Abfälle	19
7.3.4 Probenahme	20
7.3.5 Prüfung	21
7.4 Geochemische Charakterisierung	22
7.4.1 Allgemeines	22
7.4.2 Saures Sickerwasser	24
7.4.3 Probenahme	24
7.4.4 Prüfung	25
8 Wirtschaftsplan für mineralische Abfälle	27
9 Bemessung, Bau, Betrieb und Stilllegung von Bergbauhalden	28
9.1 Bemessungsziele	28
9.2 Standortwahl	29
9.2.1 Allgemeines	29
9.2.2 Rangliste alternativer Standorte	29
9.3 Bemessungselemente	30
9.4 Bemessungsparameter	31
9.5 Risikomanagement	31
9.6 Bemessung des Querschnitts der Dammaufschüttung	32
9.7 Bau von Dammaufschüttungen	34
9.7.1 Allgemeines	34
9.7.2 Aufschüttung vor der Deponierung	34
9.7.3 Stufenweiser Bau von Dammaufschüttungen	34
9.8 Stabilität der Aufschüttung	36
9.8.1 Allgemeines	36
9.8.2 Dynamische Stabilität	37
9.8.3 Sickerwasser-Management	38
9.9 Bemessung eines Aufspülsystems zur Deponierung	38
9.9.1 Allgemeines	38
9.9.2 Hydraulischer Transport	39

9.9.3	Hydraulische Deponierung	39
9.9.4	Deponierung unter Wasser	40
9.9.5	Freiliegende Deponierung	40
9.10	Wassermanagement	41
9.10.1	Allgemeines	41
9.10.2	Wasserbilanz	41
9.10.3	Hochwassermanagement	41
9.10.4	Notfall-Überlauf	42
9.10.5	Bemessung des Oberflächenabflusses	42
9.11	Handbuch für Betrieb, Wartung und Überwachung (OMS)	44
9.12	Notfallplanung	45
9.13	Stilllegung	46
9.13.1	Planung und Bemessung der Stilllegung	46
9.13.2	Fortlaufende Überarbeitung des Stilllegungsplans	47
9.13.3	Nachsorgeanforderungen	47
10	Qualitätslenkung der Bauausführung	47
10.1	Allgemeines	47
10.2	CQA der Dammaufschüttung	48
10.3	Qualitätslenkung der Entsorgung	48
11	Messung und Überwachung	50
11.1	Allgemeines	50
11.2	Messtechnische Überwachung	52
12	Inspektionsregelungen	56
12.1	Allgemeines	56
12.2	Kompetenz	56
12.3	Hintergrunddaten für Inspektion und Berichterstellung	56
12.4	Technische Inspektionen	56
12.4.1	Allgemeines	56
12.4.2	Tägliche Inspektionen	58
12.4.3	Wöchentliche Inspektionen	63
12.4.4	Zusätzliche Inspektionen	64
12.4.5	Inspektionsaufzeichnungen	64
12.4.6	Aufzeichnungen von Messgeräten	64
12.4.7	Regelmäßige Untersuchungen	64
12.4.8	Jährliche Prüfungen	65
12.4.9	Kompetenz	65
12.4.10	Jährliche Berichterstellung	65
12.5	Regelungen für unabhängige Inspektionen	65
12.5.1	Der unabhängige Prüftechniker	65
12.5.2	Anwendungsbereich	66
12.5.3	Häufigkeit unabhängiger technischer Inspektionen	66
12.5.4	Verfahren für unabhängige technische Inspektionen	66
12.5.5	Berichterstellung	67
12.5.6	Empfehlungen	69
Anhang A (normativ)	Nicht genormte geotechnische Prüfungen	71
A.1	Einleitung	71
A.2	Prüfung des Feststoffanteils	71
A.2.1	Beschreibung	71
A.2.2	Geräte	71
A.2.3	Durchführung	71
A.2.4	Ergebnisse	72
A.3	Prüfung der Sinkgeschwindigkeit von Partikeln	72
A.3.1	Beschreibung	72
A.3.2	Geräte	72

A.3.3	Durchführung.....	73
A.3.4	Ergebnisse	73
A.4	Prüfung der undrnierten Ablagerung.....	73
A.4.1	Beschreibung.....	73
A.4.2	Geräte.....	73
A.4.3	Durchführung.....	74
A.4.4	Ergebnisse	75
A.5	Prüfung der drnierten Ablagerung.....	75
A.5.1	Beschreibung.....	75
A.5.2	Geräte.....	76
A.5.3	Durchführung.....	76
A.5.4	Ergebnisse	77
A.6	Lufttrocknungsprüfung.....	78
A.6.1	Beschreibung.....	78
A.6.2	Geräte.....	79
A.6.3	Durchführung.....	79
A.6.4	Ergebnisse	81
A.7	Schlammfestigungsprüfung.....	82
A.7.1	Beschreibung.....	82
A.7.2	Geräte.....	82
A.7.3	Durchführung.....	82
A.7.4	Ergebnisse	84
Anhang B (informativ) Geochemische Programme und Internetseiten.....		88
Literaturhinweise.....		89

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16907-7:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument ist Teil der Europäischen Normen im Rahmen der Normenreihe EN 16907 zu *Erdarbeiten*. Die Normenreihe, die vom Technischen Komitee CEN/TC 396 erarbeitet wurde, gliedert sich in mehrere Teile, die verschiedenen Stufen der Planung, Ausführung und Überwachung von Erdarbeiten entsprechen und zusammen als eine Gruppe von Normen für die Ausführung von Erdarbeiten betrachtet werden sollten. Die vollständige Reihe von Teilen ist wie folgt:

- EN 16907-1, *Erdarbeiten — Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln (dieses Dokument)*;
- EN 16907-2, *Erdarbeiten — Teil 2: Materialklassifizierung*;
- EN 16907-3, *Erdarbeiten — Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten*;
- EN 16907-4, *Erdarbeiten — Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln*;
- EN 16907-5, *Erdarbeiten — Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung*;
- EN 16907-6, *Erdarbeiten — Teil 6: Landgewinnung mit nassgebaggertem Auffüllmaterial*;
- EN 16907-7, *Erdarbeiten — Teil 7: Hydraulische Einbringung von Abfällen*.

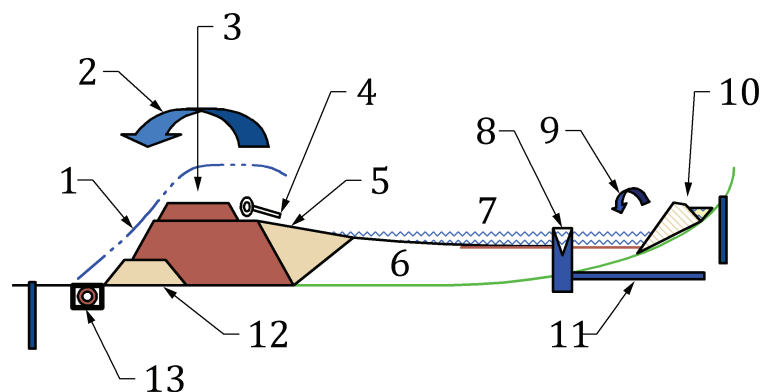
Innerhalb dieser Norm sind Verweisungen auf bestimmte Teile der Norm vollständig ausgeschrieben (z. B. „EN 16907-2“).

Diese Normen zu Erdarbeiten sind nicht für die Umweltplanung und die Bemessung in der Geotechnik anwendbar, welche die geforderte Form und die Eigenschaften des zu errichtenden Erdbauwerks bestimmen. Sie sind für die Bemessung der Erdbaumaterialien sowie die Ausführung, Überwachung und Überprüfung der Erdbauprozesse anwendbar, um sicherzustellen, dass das fertiggestellte Erdbauwerk der geotechnischen Bemessung genügt.

Einleitung

Die Richtlinie 2006/21/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. März 2006 über die Bewirtschaftung von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie gibt an, dass die Erstellung eines Abfallwirtschaftsplans für bestimmte Bergbauhalden (en: mine waste facility, MWF) erforderlich ist. Ein Ziel des Abfallwirtschaftsplans ist es, eine sichere Entsorgung der mineralischen Abfälle durch Auswahl einer Bemessung, die geotechnische und geochemische Stabilität für alle Aufspülmateriale bietet, die auf eine bestehende Geländeoberkante aufgebracht werden, kurz- und langfristig sicherzustellen. Daraus folgt, dass während der Bemessung, des Baus, des Betriebs, der Wartung, der Stilllegung und der Nachsorgephase einer MWF geeignete Merkmale integriert werden müssen, um schwere Unfälle zu vermeiden und negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt zu begrenzen. Diese Norm behandelt alle technischen Phasen der Entwicklung eines Projekts für Aufspülmateriale im Kontext der Bergbauabfallrichtlinie mit Schwerpunkt auf der Charakterisierung von Abfällen und Einrichtungen und Verfahren für Erdarbeiten.

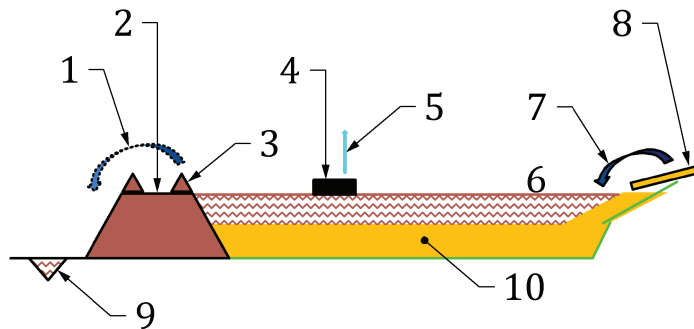
Alle Sektoren der mineralgewinnenden Industrie produzieren mit hoher Wahrscheinlichkeit Rückstände, die bei der Verarbeitung von Mineralien durch Zerkleinerungs- und Konzentrationsprozesse mechanisch und manchmal auch chemisch verändert werden. Diese Rückstände (Aufbereitungsrückstände) bestehen aus Feinkornmaterial, das üblicherweise in Schlammform als Aufspülmateriale aus dem Verarbeitungswerk abgeleitet wird, wobei zu beachten ist, dass grobe Partikel mit hydraulischen Mitteln üblicherweise weder transportiert noch deponiert werden. Solche mineralischen Abfälle müssen unabhängig von ihrer Konsistenz und ihren allgemeinen Merkmalen in einer Einrichtung für deren sichere Handhabung gelagert werden, sofern sie nicht sofort wiederzuverwerten sind. In den Sektoren für Zuschläge und Industriemineralien werden diese Einrichtungen auch als „Schlammteiche“, im Energiesektor als „Aschedeponien“ und im Metallbergbau als „Absetzanlage“ bezeichnet. Im Rahmen dieser Norm werden alle drei als Bergbauhalden (MWFs) bezeichnet Bild 1 und Bild 2.



Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Sickerwasser-Recycling | 8 Prozesswasser / Oberflächenabfluss bei hohem Füllstand |
| 2 Notfall-Überlauf | 9 Werksabfluss |
| 3 Dammaufschüttung | 10 Umleitungssystem |
| 4 Austragsleitung für Aufbereitungsrückstände | 11 Rückleitung zum Verarbeitungswerk |
| 5 Ablagerung von Aufbereitungsrückständen | 12 Sickerwasser-Ablaufregulierung |
| 6 Schlick | 13 Sickerwasser-Rückföhrpumpe |
| 7 Rückhaltebecken | |

Bild 1 — Typischer Querschnitt — Absetzanlage



Legende

- | | | | |
|---|--|----|--------------------------------|
| 1 | Notfall-Überlauf | 6 | Klärteich |
| 2 | Homogener Erdschüttdamm | 7 | Werksabfluss |
| 3 | Kantenschutz | 8 | Austragsleitung für Silt |
| 4 | Teichpegel-Steuerungssystem mit Schwimmpumpe | 9 | Entwässerungsregulierungskanal |
| 5 | Rücklauf zum Frischwasserteich | 10 | Unverfestigte Siltablagerung |

Bild 2 — Typischer Querschnitt — Schlammteich

Wenn die Deponierung mit hydraulischen Einbauverfahren erreicht wird, verfügt die MWF für so feine partikelförmige Abfälle über eine Anlage, die die mineralischen Abfälle und einen Teil des freien Wassers aus dem Verarbeitungsbetrieb, Wasser aus anderen Anlagen oder Regenwasser anstaut oder aufnimmt. Dieser Prozess erfordert die Bemessung und den Bau eines Damms, einer Dammaufschüttung oder eines anderen Bauwerks zur Aufnahme, Lagerung, Eindämmung oder anderweitigen Handhabung solcher Abfälle auf einer Bodenoberfläche zusammen mit der zugehörigen Infrastruktur.

Für die Bauausführung, den Betrieb und die Sanierung einer MWF sind viele Techniken verfügbar, von denen einige genormt sind und auf eine lange Verwendungsgeschichte in der mineralgewinnenden Industrie zurückblicken. Daher kann bei der Bemessung eines komplexen Bauwerks für Aufspülungen, wie einer MWF, die von den Gegebenheiten vor Ort und den klimatischen, geologischen, topografischen, hydrologischen, seismologischen und umweltbezogenen Gegebenheiten abhängt, keine Norm spezifische bau- oder umgebungsbezogene Elemente vorgeben oder empfehlen. Es ist jedoch wichtig, dass die hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen nur sachgemäß geleitet werden kann, wenn ausreichende Kenntnisse der geochemischen, physikalischen und geotechnischen Merkmale und Eigenschaften vorhanden sind. Solche Kenntnisse können durch die detaillierte Charakterisierung der Abfälle und der Abfallbehandlungsanlage und ihrer daraus folgenden Klassifizierung nach Versagensfolgen erworben werden. Durch die regional unterschiedlichen geologischen und klimatischen Bedingungen ergeben sich nationale Unterschiede in den Ausführungen von Erdarbeiten. Deshalb werden mit dieser Norm die Grundsätze und Systeme für die Ausführung, den Betrieb und die Sanierung einer MWF in Bezug auf Erdarbeiten festgelegt.

Dieses Dokument ist Teil einer Europäischen Normenreihe zu Erdarbeiten. Seitens des CEN/TC 396 wurde beschlossen, ein separates Dokument zur hydraulischen Einbringung von mineralischen Abfällen, die durch Erdarbeiten entstehen, einzuführen. Dieses Dokument legt geotechnische und geochemische Normen fest, die notwendig sind, um die Anforderungen der Richtlinie 2006/21/EG zu erfüllen. Es bietet einen vereinheitlichten Ansatz für alle Interessenvertreter, die an der Entwicklung von Aufspülprojekten beteiligt sind, und ein Rahmenwerk für deren Projektierung und Implementierung.

Der Inhalt dieses Dokuments ist allgemein gehalten und große Teile des Textes sind unter Berücksichtigung der breit gefächerten Maßnahmen zur Gewinnung von Rohstoffen und der Abhängigkeit der Merkmale einzelner Abfälle und ihrer Deponierungseigenschaften von der Geologie, der eingesetzten Mineralgewinnungs- und Mineralverarbeitungstechnik und dem Typ und dem Aufstellungsort der MWF zusammenfassend. Für weitere Einzelheiten wird auf die Veröffentlichung *The hydraulic transport and storage of extractive waste, Guidelines to European Practice* (Cambridge, 2018) verwiesen.

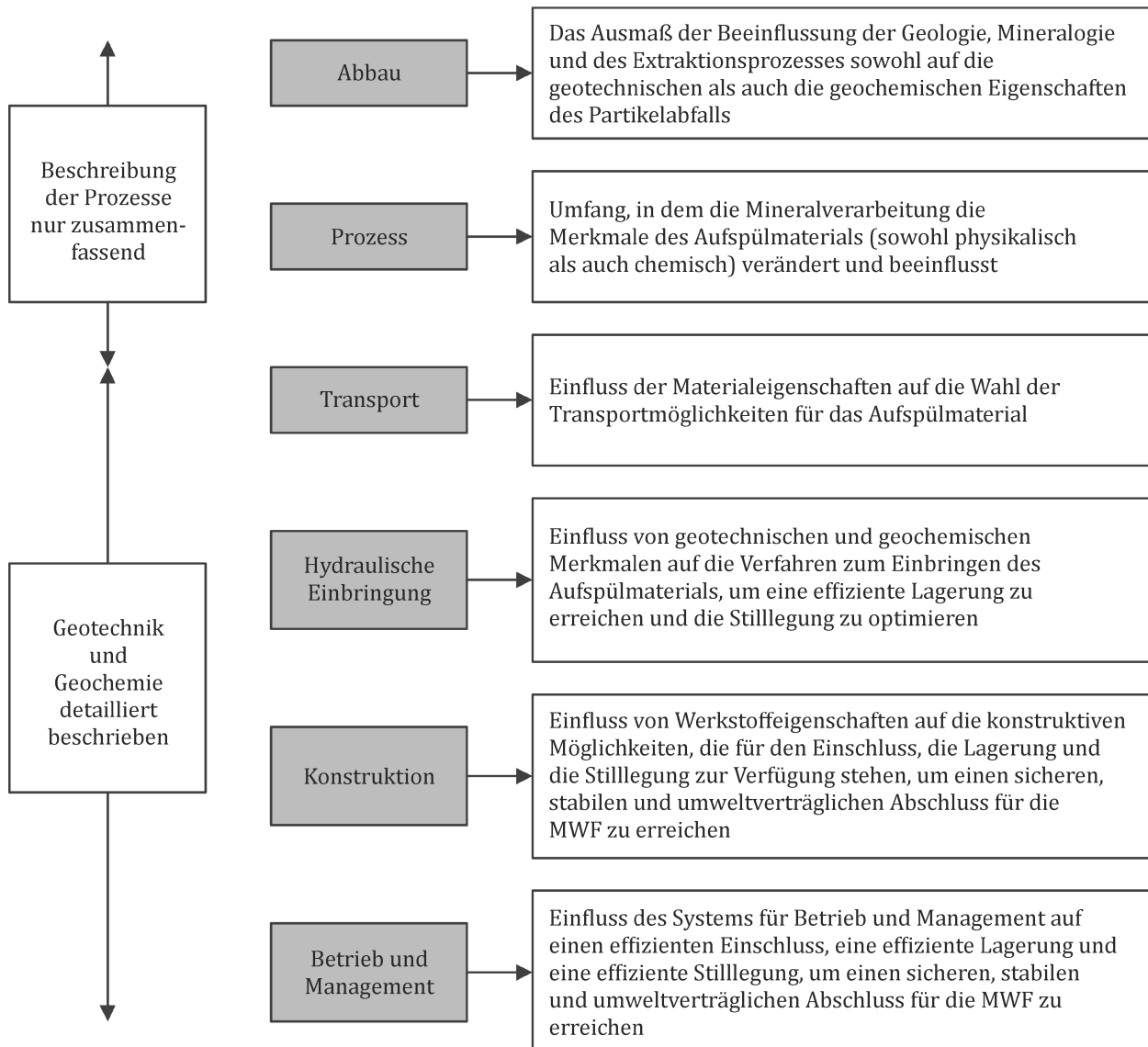


Bild 3 — In diesem Dokument behandelte Phasen der hydraulischen Einbringung

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gibt Empfehlungen für die hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen und kann wie folgt anwendbar sein:

- auf alle Interessenvertreter im Bereich der Deponierung mineralischer Abfälle mit hydraulischer Einbringungstechnik in Bezug auf geotechnische und geochemische Aspekte der Untersuchung, der bautechnischen Bemessung, des Baus und des Betriebs einer Bergbauhalde und aller anschließenden Überwachungsmaßnahmen;
- auf mineralgewinnende Industriebetriebe, in denen feine partikelförmige Abfälle anfallen, die im Rahmen der industriellen Verarbeitung an einem sicheren, stabilen und umweltverträglichen Ort gelagert werden müssen;
- auf Anwender in nicht mineralgewinnenden Industriebetrieben aus Branchen, in denen ähnliche Techniken eingesetzt werden können und für die keine anderen europäischen Richtlinien bestehen.

Der Anwendungsbereich dieses Dokuments umfasst alle Aspekte eines Damms, einer Dammaufschüttung oder eines anderen Bauwerks zur Aufnahme, Lagerung, Eindämmung oder anderweitigen Handhabung solcher Abfälle auf einer Bodenoberfläche. Die Grundstruktur für die Norm und für alle Phasen eines Projekts für Aufspülmaterialien ist in Bild 3 dargestellt. Somit behandelt diese Norm die Charakterisierung der mineralischen Abfälle zum Zweck der hydraulischen Einbringung in die MWF als Teil der Dammaufschüttung und zur sicheren Lagerung. Zusätzlich enthält sie Folgendes:

- Spezifikation der Mindestanforderungen an die vor der Bemessungs- und Ausführungsphase eines Projekts für Aufspülmaterialien zu erfassenden Daten;
- Leitlinien für die Auswahl des für den ausgewählten Standort geeigneten Typs der Dammaufschüttung;
- Leitlinien für die Auswahl und Charakterisierung der Baustoffe;
- allgemeine Grundsätze für die Bemessung und Ausführung eines Projekts für Aufspülmaterialien von den Vorbereitungen für die Deponierung über den Betrieb bis zur Stilllegung und Sanierung;
- Leitlinien für die Überwachung und Qualitätslenkung aller Phasen des Projekts für Aufspülmaterialien zur Sicherstellung der langfristigen Sicherheit und Stabilität.

In diesem Dokument wird betrachtet, wie bestimmte Materialien, die aus einem vorgeschalteten Prozess stammen, sicher gelagert werden. Es enthält keine Definitionen, Festlegungen oder Beschreibungen von Elementen für die Bemessung eines Projekts für Aufspülmaterialien, sondern allgemeine Leitlinien, um gesetzlichen Vorschriften und den Regeln der Technik zu entsprechen. Das Dokument berücksichtigt, dass ähnliche Techniken für die hydraulische Einbringung von Material in nicht mineralgewinnenden Industriebetrieben angewendet werden können, für die keine anderen europäischen Richtlinien bestehen, merkt jedoch an, dass es nicht für Deponien, Nassbaggerung oder Aspekte des hydraulischen Einbaus beim Verpressen anwendbar ist.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN ISO 17892 (Reihe), *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Weitere Informationen siehe Richtlinie 2006/21/EG.

3.1

Dammaufschüttung

bautechnischer Damm aus natürlich vorkommenden und verarbeiteten geotechnischen Werkstoffen zur sicheren Zurückhaltung feinkörniger Materialien (Aufbereitungsrückstände), die aus einer Anlage für Mineralverarbeitung ablaufen, zusammen mit überschüssigem Prozesswasser und natürlichem Abfluss

3.2

Oberflächenabfluss

technisches Bauwerk für das Recycling von Prozesswasser und gegebenenfalls für den Austrag natürlichen Abflusses

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Bauwerk kann über einen Turm, eine schwimmende/statische Pumpe oder ein schwerkraftbasiertes Überlaufsystem verfügen.

3.3

Notfall-Überlauf

technisches Bauwerk für die sichere Ableitung eines extremen Hochwasserereignisses, ohne die Stabilität der Dammaufschüttung zu gefährden

3.4

Aufspülmaterial

Schüttgüter, z. B. Aufbereitungsrückstände, die als Suspension in einer Fluidmatrix transportiert und eingebracht werden

3.5

Aufspülssystem

zur Verteilung und Deponierung des Aufspülmaterials notwendige Leitungen und Infrastruktur, die Teil der Bergbauhalde sind/ist

3.6

unabhängig

frei von persönlichen Interessen an der Planung, der Bemessung und dem Betrieb der Bergbauhalde und insbesondere von familiären und finanziellen Interessen mit Bezug auf das Ergebnis einer damit zusammenhängenden Inspektion

Anmerkung 1 zum Begriff: Zahlungen für Inspektionsdienstleistungen werden nicht als Einschränkung der Unabhängigkeit betrachtet.

3.7

Inspektion

Tätigkeit, die eine Überprüfung und Überwachung einer MWF und ihrer Einhaltung der Bemessungs- und Leistungskriterien beinhaltet, mit dem Zweck der Bestätigung, dass die festgelegten Ziele erreicht wurden

3.8

regulatorische Inspektion

Tätigkeit, die eine Überprüfung und Bestätigung der Einhaltung anwendbarer Rechtsvorschriften (z. B. lokale, nationale oder internationale Bestimmungen) und/oder die Überwachung von Auswirkungen zur Ermittlung des Bedarfs an weiteren Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung (z. B. Maßnahmen zur Sicherheit, Stabilität oder Umweltverträglichkeit) beinhaltet

Anmerkung 1 zum Begriff: Regulatorische Inspektionen können von zuständigen Behörden durchgeführt oder von diesen bei unabhängigen Experten in Auftrag gegeben und unter behördlicher Aufsicht durchgeführt werden.

3.9

technische Inspektion

Tätigkeit, die eine Überprüfung und Bestätigung der Einhaltung von Bemessungskriterien (z. B. geotechnisch, betrieblich, unternehmerisch, sicherheits- oder umweltbezogen) und/oder eine Leistungsüberwachung zur Ermittlung des Bedarfs an weiteren Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung beinhaltet

Anmerkung 1 zum Begriff: Technische Inspektionen können von „kompetenten Experten“ mit geeigneten Qualifikationen durchgeführt werden, die von einer zuständigen Behörde oder vom Eigentümer/Betreiber einer Anlage beauftragt wurden.

3.10

Bergbauhalde

technisches Bauwerk, das zusammen mit allen notwendigen zugehörigen Anlagen für eine sichere Zurückhaltung oder Eindämmung mineralischer Abfälle aus der industriellen Verarbeitung natürlich auftretender Erden, Erze oder Felsen und für die Lagerung und, falls zutreffend, das Recycling von Prozess- und Hochwasser ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Sektor für Steinbrüche und Industriemineralien werden diese Einrichtungen auch als „Schlammteiche“, im Energiesektor als „Aschedeponien“ und im Metallbergbau als „Absetzanlagen“ bezeichnet.

3.11

Mineralverarbeitung

mechanischer, physikalischer, biologischer, thermischer oder chemischer Prozess oder eine Kombination von Prozessen, mit dem/denen das Wertmineral aus einer mineralischen Ressource extrahiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies kann Größenänderungen, Klassifizierung, Trennung und Auslaugung sowie die erneute Verarbeitung zuvor entsorgter Abfälle beinhalten, jedoch keine Schmelzprozesse, thermischen Herstellungsprozesse (mit Ausnahme des Verbrennens von Kalkstein) und metallurgischen Prozesse

3.12

Überwachung

systematische Beobachtung der Bergbauhalde inklusive aller zugehörigen Einrichtungen wie der geotechnischen und geochemischen Charakterisierung, physikalischer Messungen und Anzeigen von Messgeräten zusammen mit deren Verarbeitung und Auswertung

3.13

Risikobeurteilung

Gesamtprozess von Risikoidentifizierung, Risikoanalyse und Risikobewertung inklusive der Identifizierung sämtlicher potenzieller Gefahren und der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens

3.14

Risikomanagement

bautechnische Bemessung, Betrieb und Stilllegung zum Erreichen des vereinbarten Grades der Risikominderung

3.15

Risikominderung

Prozess zur Verringerung des Risikos und der Auswirkungen durch Verfahren des Risikomanagements, um die Wahrscheinlichkeit und/oder negativen Auswirkungen des Auftretens auf die höchstzulässige Rate von Todesfällen, Verletzungen und Sachschäden zu verringern

3.16

Aufbereitungsrückstände

mineralische Abfälle, die durch Trennprozesse (z. B. Brechen, Mahlen, Sortieren nach Größe, Flotation und sonstige physikalisch-chemische Techniken) in der Mineralverarbeitung entstehen, mit denen die Wertminerale vom tauben Gestein getrennt werden

3.17

Eindeichung von Spülfeldern für Aufbereitungsrückstände

siehe 3.10

3.18

Absetzanlage

TMF

(en: Tailings Management Facility)

siehe 3.10

4 Abkürzungen

ABA	Säure-Basen-Rechnung (en: Acid Base Accounting)
ARD	saures Sickerwasser (en: Acid Rock Drainage)
BFS	bankfähige Machbarkeitsstudie (en: Bankable Feasibility Study)
BAT	beste verfügbare Techniken (en: Best Available Techniques)
CQA	Qualitätssicherung Bauausführung (en: Construction Quality Assurance)
EWD	Bergbauabfallrichtlinie (en: Extractive Waste Directive; siehe auch MWD)
ICOLD	Internationale Kommission für große Talsperren (en: International Commission On Large Dams)
IIE	unabhängiger Prüftechniker (en: Independent Inspecting Engineer)
MWF	Bergbauhalde (en: Mine Waste Facility; siehe auch TMF)
MWP	Bewirtschaftungsplan für Bergbauabfälle (en: Mine Waste Plan)
MOD	Meter über (nationalem) Normalnull (en: Metres above Ordance (National) Datum)
O&M	Betrieb und Wartung (en: Operation and Maintenance; siehe auch OMS)
OMS	Betrieb, Wartung und Überwachung (en: Operation, Maintenance and Surveillance)
PMF	höchstes wahrscheinliches Hochwasser (en: Probable Maximum Flood)
TMF	Absetzanlage (en: Tailings Management Facility; siehe auch MWF)

5 Entwicklung von Projekten zur hydraulischen Einbringung

Dieser Abschnitt beschreibt die Herkunft und Quellen des Aufspülmateri als und die einem Prozess nachgeschaltete Einbringung solcher mineralischer Abfälle in orberirdischen MWFs, wie sie im Flussdiagramm in Bild 4 veranschaulicht sind.

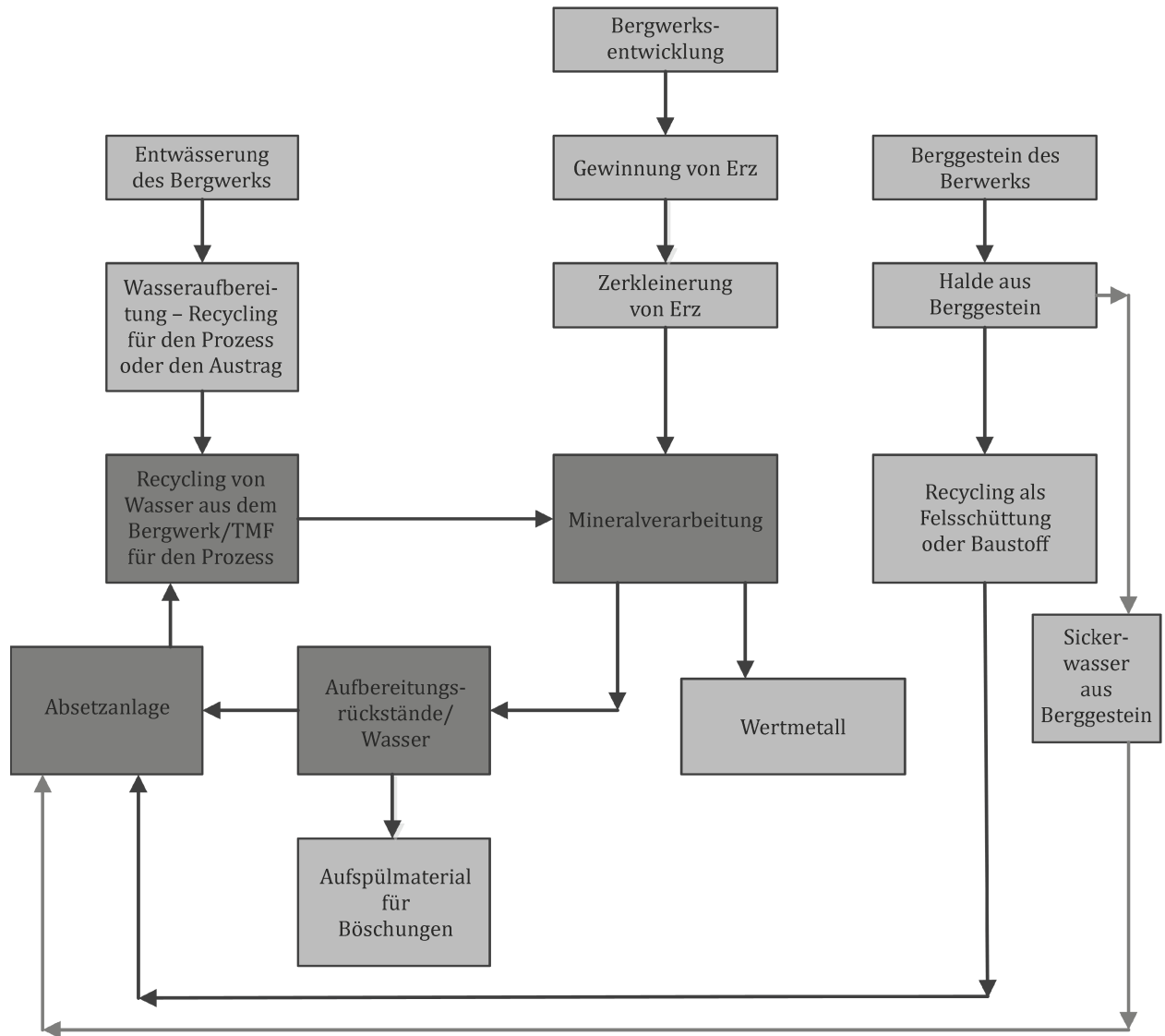


Bild 4 — Typisches Flussdiagramm für Aufspülmaterialien in einem Bergbauprojekt

Alle Sektoren der mineralgewinnenden Industrie produzieren mit hoher Wahrscheinlichkeit Rückstände, die bei der Verarbeitung von Mineralien durch Zerkleinerungs- und Konzentrationsprozesse mechanisch und manchmal auch chemisch verändert werden. Diese Rückstände (Aufbereitungsrückstände) bestehen aus Feinkornmaterial, die üblicherweise in Schlammform als Aufspülmaterial aus dem Verarbeitungswerk abgeleitet werden. Solche mineralischen Abfälle müssen unabhängig von ihrer Konsistenz und ihren allgemeinen Merkmalen in einer Einrichtung für deren sichere Handhabung gelagert werden, sofern sie nicht sofort wiederzuverwerten sind. In den meisten Fällen würde das anfallende Abfallprodukt nicht stabil sein, es sei denn, es wird in einer Anlage, d. h. einem Rückhaltebecken oder Teich, das/der von einer Dammaufschüttung umgeben ist, angestaut. Wie die Terminologie impliziert, erfordern die industriellen Prozesse für Mineralverarbeitung und Einbringung allgemein erhebliche Wassermengen als Transportmedium. Dieses Wasser ist aufgrund seines Kontakts mit dem Abfall ein wesentlicher Bestandteil des Einbringprozesses für Aufspülmaterialien. Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des industriellen Prozesses, die Umweltauforderungen und die Wasserbilanz am Standort erfordern üblicherweise, dass für den Transport der Feststoffe genutztes Wasser recycelt und in der weiteren Mineralverarbeitung wiederverwendet wird. Daher verfügt die MWF üblicherweise über eine Vorrichtung, die nicht nur der Aufnahme des aufgespülten Materials, sondern auch der wirksamen Sedimentation der partikelförmigen Abfälle und der Entnahme und Rückführung des überschüssigen Wassers zur Wiederverwendung in der Anlage für Mineralverarbeitung dient.

Die geeignete Lagerung des Aufspülmaterials und das effiziente Recycling des anfallenden Wassers erfordert eine(n) geeignete(n) Bemessung, Betrieb und Leitung des Systems für Mineralverarbeitung und die Lagerung von Rückständen, um eine langfristig sichere, stabile und nachhaltige Lagerung in einer MWF zu erreichen. Die Transportmöglichkeiten von der Anlage für Mineralverarbeitung und für die Einbringung und Deponierung in einer stabilen MWF sind vielfältig, wobei das langfristige Ziel eine sichere, stabile und effiziente Lagerung bis zu einem nachhaltigen Endpunkt der wichtigste Faktor ist, der allen Projekten dieser Art mit bewährten Verfahrensweisen gemein ist.

Das Hauptziel ist die Deponierung der mineralischen Abfälle durch hydraulische Einbringung in eine speziell errichtete MWF. Die Größe der MWF kann bezüglich der Fläche von weniger als 10.000 m² bis zu mehreren Quadratkilometern und bezüglich der Höhe von einigen Metern für eine Schlickdeponie bis über 100 m für eine Absetzanlage bei einer umfangreichen und komplexen Erzabbaumaßnahme schwanken. Typische Querschnitte einer Absetzanlage und eines Schlammteichs mit den wesentlichen Merkmalen solcher MWFs sind in Bild 1 und Bild 2 gezeigt. Es wird darauf hingewiesen, dass möglicherweise nicht alle gezeigten Merkmale in allen Anlagen erforderlich sind.

Die in der Mineralverarbeitung anfallenden feinkörnigen Rückstände werden üblicherweise abgepumpt oder in Schlammform durch die Wirkung der Schwerkraft aus der Anlage für Mineralverarbeitung zur MWF geleitet. Die Konsistenz des Schlammes unterscheidet sich von Projekt zu Projekt in Abhängigkeit von den geologischen Ursprüngen des Erzes, seiner geotechnischen Merkmale, der industriellen Verarbeitung, der Konfiguration des Deponierungsbeckens und der geografischen Lage. Der Schlamm kann ein dünner Brei mit einem Feststoffanteil von nur 5 %, wie es bei vielen Schlammteichen der Fall ist, oder mit einem Feststoffanteil von 70 % bis 80 % sehr dick sein. In letzterem Fall wird er als pastenartiges Aufspülmaterial deponiert. Daher hat die MWF zwei Aufgaben:

- die Bereitstellung einer kosteneffektiven und umweltverträglichen Möglichkeit zur Lagerung der Abfälle und für das Recycling des Prozesswassers;
- die Bereitstellung einer sicheren Lagerungsmöglichkeit für die Abfälle, sodass die MWF nach der Stilllegung zeitlich unbegrenzt geotechnisch und geochemisch stabil bleibt.

6 Bergbauhaldencharakterisierung

Die Bergbauabfallrichtlinie gibt an, dass zuständige Behörden eine MWF als Kategorie A oder als keine Kategorie A klassifizieren müssen, wenn:

- sie auf Grundlage einer Risikobeurteilung so eingestuft wird, dass ein Versagen oder eine unsachgemäße Bedienung bei Berücksichtigung anderer Faktoren wie der gegenwärtigen und zukünftigen Größe, des Standortes und der Umweltauswirkungen der MWF zu einem schweren Unfall führen könnte;
- sie als gefährlich eingestuften Abfall enthält;
- sie als gefährlich eingestufte Stoffe oder Gemische enthält.

Es ist zu beachten, dass eine MWF als keine Kategorie A klassifiziert wird, wenn keins dieser Kriterien erfüllt ist.

7 Materialcharakterisierung

7.1 Allgemeines

Die auf einer Bergbauhalde zu deponierenden mineralischen Abfälle müssen so charakterisiert werden, dass die langfristige physikalische und chemische Stabilität des Bauwerks sichergestellt ist und schwere Unfälle abgewendet werden. Die Charakterisierung von Abfällen muss die folgenden Kategorien abdecken:

- Hintergrundinformationen;
- geologische Herkunft der abzubauenden Ablagerung;
- Art des Abfalls und dessen geplante Handhabung;
- geotechnisches Verhalten von Abfall;
- geochemische Merkmale und geochemisches Verhalten von Abfall.

Alle oben aufgeführten Punkte sind in einem Abfallwirtschaftsplan für die Bergbauhalde zu berücksichtigen.

Richtlinie 2006/21/EG gibt an, dass der Charakterisierungsprozess für Abfälle auf als Kategorie A klassifizierten Bergbauhalde in verschiedenen Phasen des Projekts von der Anfangsbemessung bis zur Stilllegung durchgeführt werden sollten. Die Charakterisierung von Abfällen muss ebenfalls durchgeführt werden, wenn sich die Merkmale des in einer Bergbauhalde deponierten Materials ändern, und die Ergebnisse müssen in eine Überarbeitung des Abfallwirtschaftsplans aufgenommen werden. In diesem Zusammenhang wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- Richtlinie 2006/21/EG fordert Konformität mit dem folgenden Dokument: CEN/TR 16376, *Charakterisierung von Abfällen — Rahmenrichtlinie zur Charakterisierung von Abfällen der mineralgewinnenden Industrie*.
- CEN/TR 16365, *Charakterisierung von Abfällen — Probenahme von Abfällen aus der mineralgewinnenden Industrie*.
- CEN/TR 16363, *Charakterisierung von Abfällen — Kinetische Prüfungen zur Bestimmung des Säurebildungspotentials von sulfidhaltigen Abfällen der mineralgewinnenden Industrie*.
- CEN/TS 16229, *Charakterisierung von Abfällen — Probenahme und Analyse von leicht freisetzbaren Cyaniden bei der Einleitung in Absetzteiche*.
- EN 15875, *Charakterisierung von Abfällen — Statische Prüfung zur Bestimmung des Säurebildungspotenzials und des Neutralisationspotenzials von sulfidhaltigen Abfällen*.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten sind mehrere spezielle Verweisungen verfügbar, die zusätzliche Leitlinien für die Charakterisierung geotechnischer und geochemischer Eigenschaften mineralischer Abfälle enthalten. Die Charakterisierung von Abfällen wird umfassend in den Europäischen Leitlinien (Cambridge, 2018) behandelt.

7.2 Phasen des Charakterisierungsprozesses

Die Bemessung, der Bau, der Betrieb und die Stilllegung einer Bergbauhalde sollte auf detaillierten Kenntnissen der geotechnischen und geochemischen Merkmale der zu deponierenden mineralischen Abfälle und der für den Bau des eindämmenden Bauwerks und der Gründung unter der Halde verwendeten Baustoffe basieren. Die physikalischen und chemischen Merkmale von geologischen Materialien, die in einer Bergbauhalde verwendet werden, beeinflussen das Verhalten der Materialien während des Betriebs und der Stilllegung. Daher sollten Entscheidungen zur Bemessung in Bezug auf die Entsorgungsstrategie und die Einschlusstechnik auf einer geeigneten Bewertung des kurz- und langfristigen Verhaltens dieser Materialien basieren. Ein Charakterisierungsprogramm sollte die folgenden Elemente abdecken:

- Gründungsmaterialien unter einer Bergbauhalde;
- Baustoffe, einschließlich für die Dammaufschüttung und zugehörige Bauwerke zu verwendende mineralische Abfälle;
- zu deponierende, anzustauende oder zu lagernde mineralische Abfälle.

Die Standortcharakterisierung für eine Bergbauhalde sollte mindestens die Empfehlungen in EN 1997 (Reihe), EN 16907-1 und EN 16907-2 befolgen und sollte unter anderem die folgenden Parameter der Baugrundbeschaffenheit festlegen:

- geologische Struktur;
- Profil des Baugrunds;
- Eigenschaften von Böden und Fels;
- Grundwasser und Hydrogeologie;
- Seismizität.

Der Charakterisierungsprozess sollte in allen Entwicklungsphasen einer Bergbauhalde durchgeführt werden (Tabelle 1). Er sollte in den Vorbereitungsphasen der Projektentwicklung beginnen und sich über die Machbarkeitsstudie, die abschließende (detaillierte) Bemessungsphase, den Betrieb und die Stilllegungsphase erstrecken. Die Charakterisierung sollte auch während der Nachsorgephase durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Ziele der Stilllegung (langfristige geotechnische und geochemische Stabilität) erreicht wurden. Materialien sollten daher charakterisiert werden im Rahmen:

- der Entwicklung eines neuen Projekts;
- eines regelmäßigen Qualitätssicherungsprogramms für Bau und Deponierung;
- des aktiven Betriebs mit dem Ziel, ein spezifisches Problem zu behandeln;
- von Prüfungen der Lebensdauer des Bergbaus;
- der Entwicklung oder Aktualisierung eines Stilllegungsplans.

Mindestens die folgenden Charakterisierungskampagnen (siehe Tabelle 1) sollten Teil der Entwicklung jeder Bergbauhalde sein.

- Machbarkeit:
 - Probenahme und Prüfung geologischer Materialien, um die Basisparameter für die Bemessung der Gründung und der Aufschüttung zu bestimmen;
 - Probenahme und Prüfung mineralischer Abfälle, sofern von einer Pilotanlage verfügbar, um anfängliche Bemessungsparameter zu ermitteln;
- Vor der Deponierung:
 - Probenahme und Prüfung der Materialien für die Gründung und Dammaufschüttung, um Bemessungsannahmen zu bestätigen;
 - Probenahme und Prüfung der Dammaufschüttung und der deponierten mineralischen Abfälle während der Inbetriebnahmephase, um Bemessungsannahmen zu bestätigen;
- Betrieb:
 - laufende Probenahme und Prüfung von Baustoffen, die für die Aufschüttung verwendet wurden, im Rahmen des Qualitätssicherungsprogramms;
 - Probenahme und Prüfung der deponierten mineralischen Abfälle, um die Bemessungsparameter zu bestätigen und Parameter für die Bemessung zukünftiger Aufschüttungen zu erhalten;
- Stilllegung:
 - Probenahme und Prüfung der Materialien für die Überschüttung und Aufschüttung, um die langfristige Stabilität zu bestätigen;
 - Probenahme und Prüfung mineralischer Abfälle, um Informationen zu ihrem zukünftigen Verhalten zu erhalten;
- Nachsorge:
 - Probenahme und Prüfung aller Geomaterialien in der MWF aus Konformitätsgründen.

Tabelle 1 — Untersuchungen, Bemessung und Bauphasen einer MWF

Regulatorisch	Projektphasen	Untersuchungs- und Überprüfungsphasen
Vorentwicklung	Beginn des Projekts Entwurfsplanung vorläufige Machbarkeitsstudie	Vorstudie regulatorische Rahmenstudie Umweltverträglichkeitsrahmenstudie
Einholen von Genehmigungen (vor der Deponierung)	Machbarkeitsstudie	Felduntersuchung Phase I Umweltverträglichkeitsgrundlagenstudie vorläufige Anlagencharakterisierung vorläufige Materialcharakterisierung
	Bemessung Projektgenehmigung	Felduntersuchung Phase II Bewertung der Umweltauswirkungen Anlagencharakterisierung Abfallcharakterisierung Notfallplanung unabhängige Bemessungsprüfung

Regulatorisch	Projektphasen	Untersuchungs- und Überprüfungsphasen
	bauliche Deponierungsvorbereitungen	Qualitätssicherung Bauausführung Erstellung Ausführungszeichnungen Erstellung einer Betriebs- und Wartungsanleitung unabhängige Inspektion und Berichterstellung
Phase 1	Bemessung Phase 1 Projektgenehmigung	Felduntersuchung Anlagencharakterisierung Abfallcharakterisierung Notfallplanung unabhängige Bemessungsprüfung
	Bau Phase 1	Qualitätssicherung Bauausführung Erstellung Ausführungszeichnungen Überarbeitung der Betriebs- und Wartungsanleitung unabhängige Inspektion und Berichterstellung
Phase 2	Wiederholung aller Bemessungs-, Bau- und Prüfvorgänge für jede Erhöhungsstufe	
Betrieb (Konformität)	Betrieb	Inspektion und Überwachung Abfallcharakterisierung Bemessung für stufenweisen Bau/CQA/Zulassung Erstellung Ausführungszeichnungen Überarbeitung der Betriebs- und Wartungsanleitung Aktualisierung der Notfall-/Stilllegungspläne jährliche unabhängige Inspektion und Berichterstellung Konformitätsberichterstellung
Stilllegung	aktive Stilllegung	Anlagencharakterisierungsprogramm Umsetzung des Stilllegungsplans Beginn der Anlagensanierung Inspektion und Überwachung jährliche unabhängige Inspektion und Berichterstellung Konformitätsberichterstellung
	passive Stilllegung	Anlagencharakterisierungsprogramm Abschluss der Umsetzung des Stilllegungsplans Beginn eines langfristigen Sanierungs- und Wartungsplans Beginn eines langfristigen Inspektions- und Überwachungsplans unabhängige Inspektion und Freizeichnung abschließende Konformitätsberichterstellung

7.3 Geotechnische Charakterisierung

7.3.1 Allgemeines

Die geotechnische Charakterisierungskampagne sollte die physikalischen, mechanischen und hydraulischen Parameter der Gründungsmaterialien, der Baustoffe und der mineralischen Abfälle als Grundlage für die Bemessung einer MWF ermitteln. Die Materialcharakterisierung sollte Probenahmen und Prüfungen in Laboratorien sowie *In-situ*-Prüfungen beinhalten und sollte nach den Vorgaben in den verfügbaren Normen für die Bemessung (EN 1997 (Reihe) und den Nationalen Anhängen EN ISO 22475 und EN 16907 (Reihe)), in Prüfnormen (EN ISO 22476, EN ISO 22282, EN ISO 17892 (Reihe)) und in Verfahrensnormen (EN ISO 14688, EN ISO 14689, EN ISO 18674) durchgeführt werden.

7.3.2 Standortcharakterisierung: Gründungsmaterialien und Baustoffe

Ein detailliertes Charakterisierungsprogramm für den Bereich der Gründung sollte durchgeführt werden, wenn der endgültige Standort einer Bergbauhalde durch die Bewertung aller potenziellen Standorte ausgewählt wurde. Das Programm sollte den Zustand des Baugrunds (der Gründung) für die MWF erfassen und potenzielle Entnahmestellen für den Bau der Dammaufschüttung identifizieren. Im Rahmen der Kampagne zur Baugrunduntersuchung sollten Proben für geotechnische und geochemische Prüfungen nach einem vereinbarten Plan genommen werden. Alle Untersuchungsarbeiten sollten von einem kompetenten Auftragnehmer durchgeführt und von einem Ingenieur- oder Baugeologen mit geeigneter Qualifikation beaufsichtigt werden.

Üblicherweise ist die Baugrunduntersuchung während der Entwicklung einer neuen Bergbauhalde in mindestens zwei Phasen aufgeteilt, die während der Machbarkeitsstudie und im Rahmen einer detaillierteren Untersuchung während der abschließenden (detaillierten) Bemessungsphase, wie in Tabelle 1 angegeben, durchgeführt werden. Zusätzliche Kampagnen zur Baugrunduntersuchung für zukünftige Erhöhungen der Aufschüttung oder für Stilllegungsarbeiten können während des Betriebs erforderlich sein. Der Anwendungsbereich und Umfang aller Baugrunduntersuchungsarbeiten sollten den Regeln in EN 1997 (Reihe) und EN 16907-1 entsprechen und die Beschreibung und Klassifizierung von Materialien sollte den Regeln in EN ISO 14688, EN ISO 14689 und EN 16907-2 entsprechen.

7.3.3 Charakterisierung mineralischer Abfälle

Die ordnungsgemäße Bemessung und der ordnungsgemäße Betrieb einer Bergbauhalde erfordert eine detaillierte Charakterisierung der über den Lebenszyklus der MWF anfallenden mineralischen Abfälle. Eine Charakterisierung der mineralischen Abfälle sollte in den folgenden Phasen vorgenommen werden:

- vor dem Betrieb — durch Laborprüfungen von Pilotproben und Proben, die vor dem Beginn des Betriebs (der Inbetriebnahme) genommen wurden;
- Deponierung — durch In-situ-Prüfungen innerhalb der Anlage, die durch weitere Laborprüfungen von Feldproben vollumfänglich bestätigt werden.

Die inhärenten Parameter und Zustandsparameter der mineralischen Abfälle sollten im Rahmen einer geotechnischen Charakterisierungskampagne ermittelt werden. Allgemeine genormte Labor- und Feldprüfungen in der Geotechnik können angewendet werden, um die Mehrheit der Eigenschaften der mineralischen Abfälle zu ermitteln. Da das Verfahren zur Erzeugung und Deponierung mineralischer Abfälle jedoch von dem für natürliche Böden abweicht, sollten Prüfungen, die nicht von aktuellen Prüfnormen abgedeckt sind, auch im Charakterisierungsprozess, wie in Anhang A beschrieben, verwendet werden.

7.3.4 Probenahme

7.3.4.1 Gründungsmaterialien und Baustoffe

Proben von Gründungsmaterialien und Baustoffen für die geotechnische Charakterisierung sollten im Rahmen jeder Kampagne zur Baugrunduntersuchung (Tabelle 1) genommen werden und sollten die Empfehlungen in EN 1997 (Reihe), EN ISO 22475 und EN 16907-1 erfüllen.

7.3.4.2 Mineralische Abfälle

Die physikalische und chemische Probenahme mineralischer Abfälle sollte ein kontinuierlicher Prozess sein, der sich über den Lebenszyklus einer MWF erstreckt. Insbesondere angemessene Prüfungen repräsentativer Proben sollten im Rahmen jeder Bemessungs- und Bauphase durchgeführt werden, um folgende Punkte zu ermitteln:

- physikalische Merkmale der mineralischen Abfälle vor der Deponierung, inklusive Setzung und rheologischer Eigenschaften;
- Kenngrößen der deponierten Feststoffe in Bezug auf das Lagervolumen und die Lagerbeständigkeit;
- Potenzial der mineralischen Abfälle zur Interaktion mit der örtlichen Umgebung.

Mineralische Abfälle aus der Zerkleinerung und aus metallurgischen Pilotanlagen sollten, in Anbetracht einer möglichen erheblichen Abweichung ihrer physikalischen Merkmale dieser Materialien gegenüber der Merkmale während des Normalbetriebs der Anlage, im Rahmen der Vorbereitungsphase des Projektes (vor der Deponierung) geprüft werden. Ergebnisse der Proben aus einer Pilotanlage vor der Deponierung sollten daher als Indikator angesehen und mit Bedacht verwendet werden.

Während der Deponierungsphase muss die Probenahme aus mineralischen Abfällen zur Bestätigung der anfänglichen Bemessungsparameter, insbesondere der *In-situ*-Dichte und der Festigungsmerkmale für das Lagervolumen, und zur Ermittlung von Parametern wie der effektiven Spannung und der Durchlässigkeit für die Stabilität und für zukünftige Erhöhungen der Aufschüttung verwendet werden. Die mineralischen Abfälle sollten daher in Schlammform am Ablauf der Verarbeitungsanlage und in Form eines konsolidierten Feststoffs aus der Ablagerung geprüft werden.

Bei der Probenahme am Ablauf der Verarbeitungsanlage (End-of-pipe-Probenahme) sollte ein strenges Protokoll befolgt werden, um sicherzustellen, dass das entnommene Material tatsächlich für das verarbeitete Erz und das verarbeitende System repräsentativ ist. Während des Anfahrens, zum Schichtende oder während der Implementierung von Änderungen im Betrieb zur Mineralgewinnung sollten Probenahmen vermieden werden, da dieses Material zu irreführenden Prüfergebnissen führen kann.

Bei der Probenahme aus mineralischen Abfällen für Laborprüfungen kann Material aus freiliegenden und wasserbedeckten Ablagerungen entnommen werden. In Anbetracht der Ablagerungsmerkmale der mineralischen Abfälle kann die Probenahme aus einer Ablagerung schwierig sein, was insbesondere bei Eigenschaften wie Variationen der Dichte, einer hohen Porosität, großer Empfindlichkeit, einer Entmischung des Materials und Anisotropie der Fall ist. Unter solchen Umständen können möglicherweise Probenahmetechniken angewendet werden, die üblicherweise für natürliche Böden (Verweisung EN ISO 22475) verwendet werden. In den meisten Fällen sind jedoch spezielle Verfahren wie der Probennehmer nach Bishop oder dem Gel-Push-Verfahren oder ein Einfrieren des Bodens erforderlich, die für weiche Sedimente und gesättigte Materialien, die nicht aus Kunststoff bestehen, entwickelt wurden, um die Auswirkungen von Störungen der Proben zu minimieren.

Im Probenahmeprogramm für die deponierten Materialien sollte beachtet werden, dass die geotechnischen Eigenschaften der Abfälle von den Prozessen, die der Schlamm durchläuft, und vom hydraulischen Transport- und Einbringungssystem sowie von der Umgebung beeinflusst werden. Daher sollten alle Phasen der mineralischen Abfälle betrachtet und Proben aus dem Prozesswasser zur Verwendung in nachfolgenden Laborprüfungen genommen werden. Die Beschaffenheit der Deponie kann zu erheblichen horizontalen und vertikalen Variationen der Korngrößenverteilung und damit einhergehenden Änderungen der physikalischen und mechanischen Eigenschaften innerhalb der Ablagerung führen. Die Positionen von Probenahmestellen sollten präzise ausgewählt werden, um repräsentative Materialien zu erhalten. Zufällige oder kreisförmige Verteilungen sollten vermieden werden.

Die ordnungsgemäße Entnahme, Verpackung, Lagerung und ein ordnungsgemäßer Transport aller Proben mineralischer Abfälle sollten berücksichtigt werden, um deren Abbau vor der Prüfung zu vermeiden.

Wenn eine Entnahme ungestörter Materialien aus der Ablagerung nicht möglich ist, sollten aufbereitete Proben der mineralischen Abfälle im Labor geprüft werden. Aus dem Prüfprotokoll für diese Proben sollte hervorgehen, dass die Merkmale einer aufbereiteten Probe vom Aufbereitungsprozess im Labor beeinflusst sein können und dass die darauf basierenden Prüfergebnisse mit Bedacht verwendet werden sollten.

7.3.5 Prüfung

Laborprüfungen repräsentativer Proben sollten eingesetzt werden, um ein detailliertes Verständnis der Eigenschaften der zu lagernden mineralischen Abfälle sowie der Gründung und in der Bergbauhalde zu verwendenden Baustoffe zu erlangen. In der Prüfnorm für Laborprüfungen von Böden (EN ISO 17892 (Reihe)) aufgeführte Prüfungen können um Prüfungen aus prEN 16907-2 ergänzt werden, um die Gründung und Einbaumaterialien zu charakterisieren. Diese Prüfungen können verwendet werden, um einige der Eigenschaften mineralischer Abfälle zu ermitteln, inklusive der folgenden:

- Korngrößenverteilung;
- Wassergehalt;
- Sättigungsgrad;
- mineralogische Zusammensetzung;
- Plastizität;
- relative Partikeldichte;
- Porenziffer und Porosität;
- Verdichtungsmerkmale;
- Durchlässigkeit;
- Zusammenpressbarkeit;
- Festigung;
- Scherfestigkeit.

Einige der geotechnischen Eigenschaften mineralischer Abfälle, die die Bemessung und Leistung einer MWF bestimmen, können nicht mit den in den normativen Verweisungen beschriebenen Normprüfverfahren gemessen werden. Die in der Industrie gebräuchlichen Prüfverfahren wurden jedoch in den letzten zwanzig Jahren immer weiter entwickelt, um das in einer MWF gelagerte Material vollständig charakterisieren zu können. Diese Prüfungen sind in der Industrie anerkannt und sind wie folgt:

- Prüfung des prozentualen Feststoffanteils;
- Prüfung der Sinkgeschwindigkeit von Partikeln;
- Prüfung der undränierten Ablagerung;
- Prüfung der dränierten Ablagerung;
- Lufttrocknungsprüfung;
- Schlammfestigungsprüfung (Mindestdichte).

Anhang B und die Europäischen Leitlinien (Cambridge, 2018) enthalten eine detaillierte Beschreibung aller oben aufgeführten Prüfungen und der zugehörigen Verfahren.

7.4 Geochemische Charakterisierung

7.4.1 Allgemeines

Die Richtlinie 2006/21/EG gibt an, dass eine Beschreibung der kurz- und langfristig erwarteten chemischen Merkmale der mineralischen Abfälle mit besonderem Augenmerk auf die Stabilität unter atmosphärischen/meteorologischen Bedingungen und die Stabilität der Mineralbestandteile angefertigt werden sollte. Eine geochemische Charakterisierungskampagne für mineralische Abfälle sollte daher Informationen darüber enthalten:

- ob die Abfälle als gefährlich eingestufte Materialien enthalten;
- ob die Abfälle gefährliche Stoffe enthalten;
- ob die Abfälle ein Säurebildungspotenzial haben und wie dies gegebenenfalls berücksichtigt werden kann;
- ob erhebliche Probleme durch die Auslaugbarkeit von Metallen vorliegen.

Bei der Beurteilung der oben aufgeführten Punkte sollte auf verfügbare Dokumente zur Charakterisierung von Abfällen in CEN/TC 292 verwiesen werden.

Die anzuwendende Methodik für die Charakterisierung mineralischer Abfälle ist in Bild 5 dargestellt. Der Prozess sollte mit einer Überprüfung der Hintergrunddaten und relevanter Literatur beginnen, um die allgemeinen Merkmale der Abfälle zu ermitteln und die erforderliche Anzahl von Proben festzulegen. Danach sollte ein detailliertes geochemisches Charakterisierungsprogramm durchgeführt werden, das eine Bewertung dahingehend einschließen sollte, ob die Abfälle inert sind. Für nicht inerte Materialien sollte das Programm weiterhin Siebungen und statische Prüfungen vorsehen, gegebenenfalls gefolgt von einer mineralogischen Charakterisierung, einer chemischen Analyse, Prüfungen der kurzfristigen Auslaugbarkeit und Kinetik.

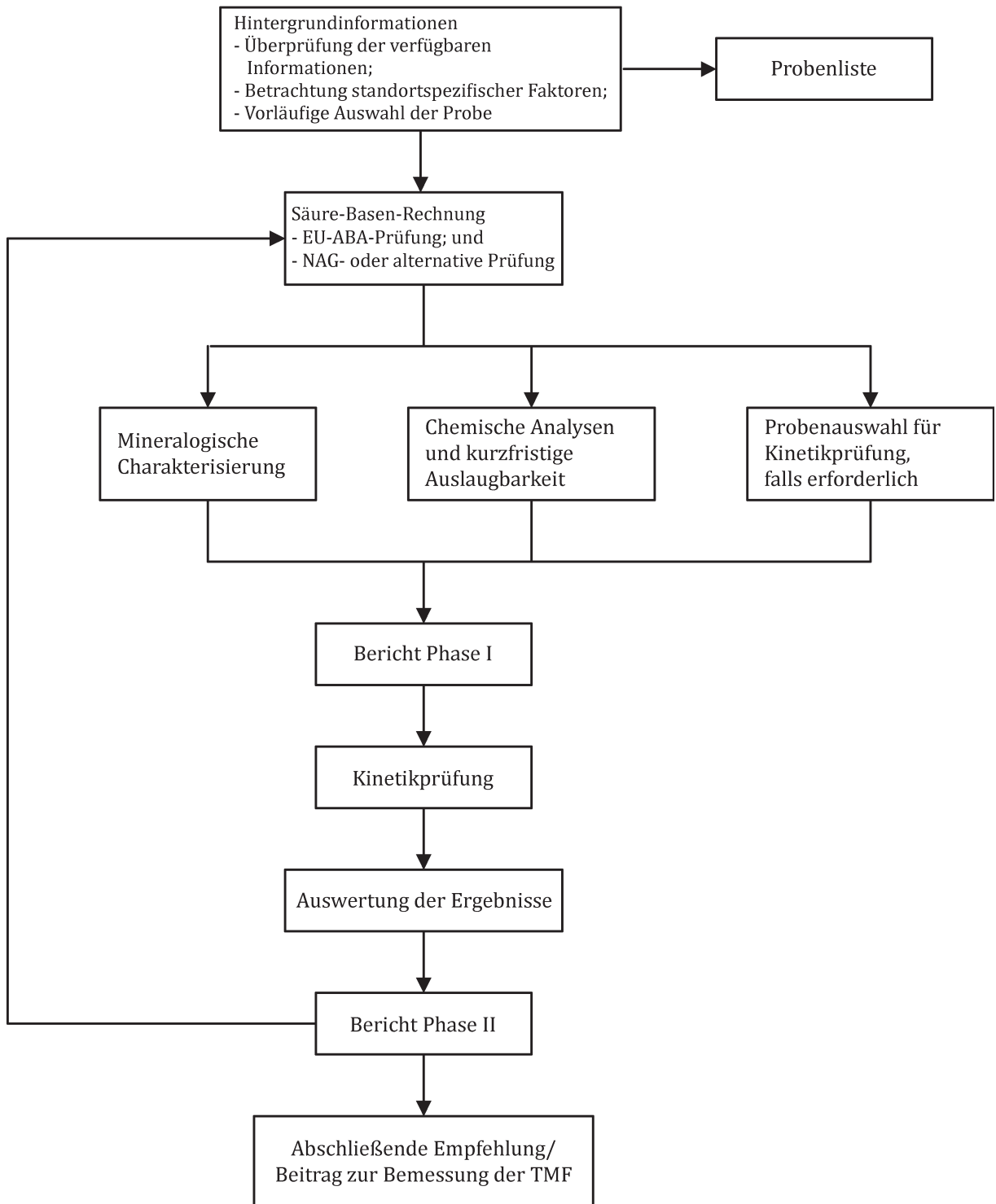


Bild 5 — Methodik für die geochemische Charakterisierung mineralischer Abfälle

7.4.2 Saures Sickerwasser

Ein häufig auftretendes Problem bei der Lagerung mineralischer Abfälle ist saures Sickerwasser (ARD), das sich bildet, wenn in den Abfällen enthaltene reaktive Sulfidminerale oxidieren und eine unzureichende Kapazität für deren Neutralisierung vorhanden ist. Dies führt zu saurem Austrag durch Abfluss und Infiltration/Versickerung. Die Anwesenheit von ARD in einer Bergbauhalde kann zu wesentlichen strukturellen Veränderungen der Dammaufschüttung und langfristig zur Freisetzung potenzieller Schadstoffe führen. Daher sollte diesem Problem schon im Ursprung entgegengewirkt und die Auswirkungen in der Bemessungs- und Betriebsphase minimiert werden.

Eine geochemische Charakterisierung von ARD sollte die folgenden Ziele verfolgen:

- Vermeidung oder Reduzierung von Schäden durch anfallende Abfälle durch die Berücksichtigung von Änderungen aufgrund einer vergrößerten Oberfläche mit potenziell oxidierenden Mineralien und Exposition gegenüber überirdischen Bedingungen;
- Beschreibung der erwarteten kurz- und langfristigen physikalischen und chemischen Merkmale der Abfälle mit besonderem Augenmerk auf die Stabilität unter atmosphärischen und meteorologischen Bedingungen an der Oberfläche;
- Vermeidung einer Verschlechterung der Wasserbeschaffenheit durch Bewertung des Potenzials und der Merkmale des Austrags.

Um effektiv zu sein, sollte ein Charakterisierungsprogramm die Eigenschaften der mineralischen Abfälle und alle möglichen zukünftigen physikalischen und chemischen Veränderungen, die dessen Verhalten während der Betriebs- und Nachsorgephase einer Bergbauhalde beeinflussen könnten, berücksichtigen. Das Programm sollte iterativ sein und alle verfügbaren Informationen berücksichtigen, inklusive der Veränderlichkeit von Erzablagerungen und Variationen von Austragsraten im Zusammenhang mit der Herkunft und der Zusammensetzung von Mineralbestandteilen. Es sollte vorhergesehene Veränderungen bei der Verarbeitung des Erzes berücksichtigen.

7.4.3 Probenahme

7.4.3.1 Allgemeines

Die Probenahme für die geochemische Charakterisierung sollte den Leitlinien in EN 14899, CEN/TR 15310 und CEN/TR 16365 sowie Anhang C des vom INAP entwickelten GARD-Leitfaden folgen.

7.4.3.2 Vorbereitungsphase der Deponierung

Bei neuen Projekten sollten Proben mineralischer Abfälle für die geochemische Charakterisierung in einer Pilotanlage genommen und sowohl die Flüssigphase des Schlammes als auch das in der Verarbeitung eingesetzte Wasser abdecken. Die Anzahl der zu prüfenden Proben sollte von der erwarteten Veränderlichkeit des Materials abhängen und repräsentativ für das in der MWF deponierte Material sein. Es sollte beachtet werden, dass mineralische Abfälle aus einer Pilotanlage möglicherweise nicht vollständig für die Abfälle aus dem Betrieb der Hauptanlage repräsentativ sind. Die Prüfergebnisse in diesen frühen Phasen eines Projekts sollten bei der Bemessung entsprechend mit Bedacht verwendet werden.

Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass hydraulischer Transport, Deponierung und Sedimentation zu einer Sortierung von Partikeln führen kann, wodurch es erforderlich sein kann, Proben in grobe und feine Korngrößen zu unterteilen, um sicherzustellen, dass ihr Verhalten vollständig charakterisiert ist.

Die Gründungsgeologie der MWF und alle für den Bau der Bergbauhalde zu verwendenden Materialien sollten im Labor einer geochemischen Bewertung unterzogen werden, um deren Eignung für die Verwendung in der Dammaufschüttung oder zugehörigen Bauwerken zu ermitteln. In Anbetracht des inakzeptablen Risikos von Bergbauarbeiten unter der Bergbauhalde, sollten an deren Standort stratigraphische Bohrungen oder andere als erforderlich angesehene Untersuchungen durchgeführt werden, um eine Positionierung der Anlage auf einer wirtschaftlich interessanten Ablagerung zu vermeiden.

7.4.3.3 Betriebsphase

Während der Betriebsphase einer MWF sollten weitere Prüfungen zur geochemischen Charakterisierung von mineralischen Abfällen und Baustoffen durchgeführt werden, um die Bemessungsparameter zu bestätigen und aus Konformitätsgründen. Die Probenahme in dieser Phase sollte nach einem geeigneten Protokoll erfolgen und die Eigenschaften der deponierten mineralischen Abfälle und die räumlichen Variationen innerhalb der Deponie berücksichtigen. Der Probenahmeplan sollte geeignete Bestimmungen für sicheren Zugang beinhalten und regelmäßig von Experten überarbeitet werden.

7.4.3.4 Stilllegungsphase

Der Stilllegungsplan sollte regelmäßig für alle Bergbauhalden aktualisiert werden und die Probenahme-strategie für diese Phase sollte Folgendes berücksichtigen:

- Anfangsbemessung der Anlage;
- Veränderlichkeit der Ablagerungen über die Projektdauer;
- Klima;
- betriebliche Entwicklung der Anlage;
- Stilllegungsstrategie.

7.4.4 Prüfung

7.4.4.1 Allgemeines

Das Prüfprogramm für alle mineralischen Abfälle und Gründungsmaterialien sollte ordnungsgemäß geplant und dokumentiert werden. Die Anfertigung von Prüfplänen sollte eine Überarbeitung aller geologischen Informationen und des Flussdiagramms für den Prozess beinhalten, zusammen mit einer Bewertung zur Sicherstellung, dass repräsentative Proben für das Prüfprogramm ausgewählt werden. Die wichtigsten Prüfphasen sind nachfolgend aufgeführt:

7.4.4.2 Statische Prüfung

Die statische Prüfung wurde zur Bestimmung des Säurebildungspotenzials entwickelt und beurteilt den Sulfidgehalt einer Probe und ihr Neutralisierungspotenzial. Das Material wird als potenziell säurebildend, als in einem Unsicherheitsbereich angesiedelt oder als wahrscheinlich nicht ARD-bildend klassifiziert. Wenn Material als potenziell säurebildend oder unsicher klassifiziert wird, sollte es einer Kinetikprüfung unterzogen werden, um zu ermitteln, ob und gegebenenfalls wie stark das Material ARD bildet.

Zu den häufigsten statischen Prüfverfahren gehören folgende:

- EN 15875, Charakterisierung von Abfällen — Statische Prüfung zur Bestimmung des Säurebildungspotenzials und des Neutralisationspotenzials von sulfidhaltigen Abfällen;
- Säure-Basen-Rechnung (ABA) nach Sobek;
- modifizierte Säure-Basen-Rechnung (ABA);
- Nettosäurebildung (NAG).

ABA-Prüfungen sollten von parallel durchgeführten kurzfristigen Auslaugungsprüfungen und chemischen Analysen begleitet werden, um die mineralogischen Daten zu vervollständigen.

7.4.4.3 Mineralogische Charakterisierung

Eine mineralogische Bewertung ermöglicht die Identifizierung des vorhandenen Mineralientyps, insbesondere Sulfide, ihres Freiheitsgrads und ob sie in der Lage sind, einen neutralen pH-Wert aufrecht zu erhalten. Die mineralogische Charakterisierung ist für die Interpretation von Siebungen (statische Prüfungen) und kinetischen Prüfungen unverzichtbar. Die beiden wichtigsten verfügbaren Verfahren sind die quantitative Röntgenbeugung nach Reitveld und QUEMSCAN. Bei der Auswertung der Ergebnisse sollten die Grenzen der einzelnen Prüfverfahren berücksichtigt werden.

7.4.4.4 Chemische Zusammensetzung und kurzfristige Auslaugung

Prüfungen der kurzfristigen Auslaugbarkeit in Kombination mit der Bewertung der chemischen Zusammensetzung sollten verwendet werden, um die Mobilität der enthaltenen Metalle zu bestimmen, wenn die mineralischen Abfälle auslaugenden Stoffen ausgesetzt werden, die saure oder alkalische Umgebungen simulieren können, und um zu beurteilen, ob bestimmte umweltgefährdende Elemente in Konzentrationen oberhalb sicherer Grenzwerte freigesetzt werden könnten. Diese Prüfverfahren können auch für die Klassifizierung von Materialien als gefährlich oder ungefährlich verwendet werden.

Die Entscheidung 2009/360/EG der Kommission empfiehlt die Bewertung der Auslaugbarkeit von Metallen, Oxyanionen und Salzen im Zeitverlauf mit einem oder mehreren der folgenden Verfahren:

- pH-Abhängigkeitsauslaugungsprüfung;
- Perkolationsprüfung;
- zeitbezogene Freisetzungsprüfung;
- andere geeignete Prüfungen.

In der EU empfohlene Prüfungen zur Bestimmung der kurzfristigen Auslaugbarkeit sind in CEN/TR 16376 aufgeführt. In den folgenden Dokumenten sind zusätzliche Verfahren angegeben:

- CEN/TS 14429:2005 *Charakterisierung von Abfällen — Untersuchung des Auslaugungsverhaltens — Einfluss des pH-Wertes unter vorheriger Säure/Base Zugabe.*
- CEN/TS 14997:2006, *Charakterisierung von Abfällen — Untersuchung des Auslaugungsverhaltens — Einfluss des pH-Wertes auf die Auslaugung bei kontinuierlicher pH-Wert-Kontrolle.*
- EN 12457 (Teil 1 bis Teil 4), *Charakterisierung von Abfällen — Auslaugung — Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen.*

Die chemische Zusammensetzung mineralischer Abfälle sollte bestimmt werden, um die Ergebnisse der kurzfristigen Auslaugungsprüfungen in Kontext zu setzen. Die zwei am häufigsten verwendeten Prüfverfahren sind die Gesamtgesteinsanalyse unter Verwendung der Röntgenfluoreszenz (en: X-ray Fluorescence, XRF) und gerätegestützte Verfahren mit einem Aufschluss und induktiv gekoppeltem Plasma (en: Inductively Coupled Plasma, ICP) und Massenspektrometrie (MS).

Die Löslichkeit der verschiedenen in den mineralischen Abfällen enthaltenen Elemente sollte nach den Empfehlungen in CEN/TR 16376 ausgewertet werden.

7.4.4.5 Kinetikprüfung

Die Kinetikprüfung sollte verwendet werden, um zu ermitteln, ob Material zu irgendeinem Zeitpunkt eine Nettosäurebildung aufweist. Dieser Prüfungstyp ergibt primäre Daten zur Säurebildung, Neutralisierung und Freisetzung von Metallen, die verwendet werden, um zu ermitteln, ob säurebildende Sulfide oder Alkalität verursachende Mineralien wahrscheinlich zuerst erschöpft sein werden, und ob die Alkalität verursachenden Mineralien einen neutralen pH-Wert aufrechterhalten können.

Die Kinetikprüfung kann vor Ort oder im Labor durchgeführt werden, wobei die Prüfung im Labor aufgrund der Schwierigkeiten im Zusammenhang mit Feldprüfungen üblicherweise bevorzugt wird. Im Labor werden für die Durchführung der Prüfung zwei Gerätetypen verwendet: Feuchtezellen und Kolonnen. Kinetikprüfungen sind mit hohen Kosten verbunden und sollten präzise bemessen und durchgeführt werden, da sie üblicherweise über mehr als ein Jahr durchzuführen sind. Darüber hinaus sollten nur erfahrene Fachleute die Ergebnisse auswerten.

EU-Empfehlungen zur Ausführung und Auswertung von Kinetikprüfungen befinden sich in den folgenden Dokumenten:

- CEN/TR 16376, *Charakterisierung von Abfällen — Leitfaden zur Charakterisierung von Abfällen der mineralgewinnenden Industrie.*
- CEN/TR 16363, *Charakterisierung von Abfällen — Kinetische Prüfungen zur Bestimmung des Säurebildungspotentials von sulfidhaltigen Abfällen der mineralgewinnenden Industrie.*

8 Wirtschaftsplan für mineralische Abfälle

Ein Abfallwirtschaftsplan (en: Waste Management Plan, WMP) sollte für alle Bergbauhalden angefertigt werden und unter Berücksichtigung des Prinzips der nachhaltigen Entwicklung Angaben zur Minimierung, Behandlung, Rückgewinnung und Entsorgung mineralischer Abfälle enthalten. Der WMP sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

- Informationen zu Bemessung und Bau aller Dammaufschüttungen;
- den Deponierungsplan für mineralische Abfälle;
- die geplante Erhöhungsrates der Deponie und der damit zusammenhängenden Dammaufschüttungen;
- die optimalen Transport- und Entsorgungseinrichtungen;
- das System für Betrieb und Management;
- Kriterien für sicheren Betrieb.

Die Bergbauabfallrichtlinie gibt an, dass ein Abfallwirtschaftsplan für eine MWF der Kategorie A mindestens die folgenden Elemente beinhalten sollte:

- die vorgeschlagene Klassifizierung der MWF in Übereinstimmung mit den Kriterien der Bergbauabfallrichtlinie;
- Regeln zur Vermeidung schwerer Unfälle inklusive eines Sicherheitsmanagementsystems und eines internen Notfallplans;
- Abfallcharakterisierung und eine Aussage zur geschätzten Gesamtmenge der während der Betriebsphase der MWF anfallenden mineralischen Abfälle;

- eine Beschreibung des Betriebs, bei dem diese mineralischen Abfälle anfallen, und alle nachfolgenden Behandlungen, denen sie unterzogen werden;
- eine Beschreibung, wie sich die Deponierung dieser mineralischen Abfälle möglicherweise negativ auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit auswirken kann;
- die vorgeschlagenen Steuerungs- und Überwachungsverfahren für die MWF;
- der vorgeschlagene Plan für die Stilllegung, einschließlich der Sanierung, der Verfahren der Nachsorge und der Überwachung;
- Maßnahmen zur Verhinderung einer Verschlechterung der Wasserverhältnisse und zur Verhinderung oder Minimierung der Belastung von Luft und Boden;
- eine Untersuchung der Verhältnisse im Boden, auf dem die MWF errichtet wird.

Gemäß der Bergbauabfallrichtlinie muss der Abfallwirtschaftsplan:

- alle fünf Jahre oder, sofern Änderungen im Betrieb der MWF oder der deponierten Abfälle dies erfordern, häufiger überarbeitet werden;
- jederzeit fehlerfrei und anwendbar sein.

Alle sich daraus ergebenden Änderungen sollten der zuständigen Behörde mitgeteilt werden.

9 Bemessung, Bau, Betrieb und Stilllegung von Bergbauhalden

9.1 Bemessungsziele

Das primäre Bemessungsziel ist die Sicherstellung einer kurz- und langfristig sicheren Entsorgung der mineralischen Abfälle. Daher hat die MWF zwei Aufgaben:

- die Bereitstellung einer kosteneffektiven und umweltverträglichen Möglichkeit zur Lagerung der Abfälle und für das Recycling des Prozesswassers;
- die Bereitstellung einer sicheren und stabilen Lagerungsmöglichkeit für die Abfälle, sodass die Bergbauhalde nach der Stilllegung langfristig geotechnisch und geochemisch stabil bleibt.

Die Ziele sind über die Bemessung, den Betrieb und die Stilllegung der MWF hinweg (Tabelle 2) anzuwenden und müssen folgendes sicherstellen:

- minimale Eingriffe nach der Stilllegung;
- Prävention oder Minimierung aller negativen langfristigen Auswirkungen durch die Migration von Schadstoffen in Luft und Wasser;
- langfristige geotechnische und geochemische Stabilität der MWF.

Eine MWF sollte daher die folgenden Punkte erfüllen:

- Sicherheit — Bemessung und Bau mit dem Ziel der Erfüllung der Anforderungen an die kurz- und langfristige geotechnische und geochemische Stabilität;
- Wirtschaftlichkeit — gegebenenfalls Verwendung mineralischer Abfälle für den Bau von Erddämmen;

- Wasserwirtschaft — Maximierung von Recycling und Wiederverwendung von Wasser bei sicherem Management von Hochwasserereignissen;
- Management der Bergbauanlage — Betrieb, technische Inspektion und Überwachung in Übereinstimmung mit bewährten Verfahrensweisen und gesetzlichen Vorgaben;
- Umweltmanagement — Kontrolle und Überwachung aller potenziellen Emissionen mit Bezug zu Konformitätszielen;
- Stilllegung — Bemessung der MWF, sodass am Ende des Lebenszyklus der Bergbauanlage eine nachhaltige Geländeform erreicht wird, die langfristige Verpflichtungen und Auswirkungen minimiert.

9.2 Standortwahl

9.2.1 Allgemeines

Bei der Auswahl eines geeigneten Standortes für die MWF sollten die folgenden Faktoren besonders berücksichtigt werden:

- Pflichten in Bezug auf durch Gemeinschaftsrecht oder einzelstaatliches Recht geschützte Gebiete;
- Klima;
- Geologie;
- Hydrologie;
- Hydrogeologie;
- Seismizität.

9.2.2 Rangliste alternativer Standorte

Die Studie zur Standortwahl beinhaltet üblicherweise die Erstellung einer Rangliste ausgewählter Standorte auf Grundlage folgender Kriterien:

- Risiken, die über den gesamten Lebenszyklus der MWF gemanagt werden müssen, in Zusammenhang mit den einzelnen Standorten;
- Topografie (Verhältnis des Volumens der Dammaufschüttung zur Lagerkapazität);
- geotechnische Eignung inklusive Verfügbarkeit von Baustoffen und der Beschaffenheit der Gründung;
- Zugänglichkeit;
- Kosten, z. B. in Bezug auf die Entfernung zum Verarbeitungswerk, zur Dammaufschüttung und zur Entsorgungsinfrastruktur;
- Umweltverträglichkeit und Akzeptanz durch Interessenvertreter;
- Konzept für die Stilllegung und damit einhergehende Kosten.

Die Optionen sollten vor dem Hintergrund der bekannten Materialien und Standortparameter Folgendes berücksichtigen:

- Risiken und potenzielle Auswirkungen des Standorts, Transportwege, technische Anforderungen und Baukosten;
- Optionen der Mineralverarbeitung und Technologie in Bezug zum physikalischen und chemischen Verhalten des Aufspülmaterials selbst und zu den Bestandteilen des Systems zur Lagerung und Rückführung des Prozesswassers;
- Bau der MWF in Bezug auf die Eigenschaften des Aufspülmaterials und der Baustoffe, der Konfiguration und Einteilung der Dammaufschüttung in Zonen und dem kontinuierlichen Management von Sickerwasser aus der Dammaufschüttung und der Tragschicht der MWF;
- Deponierung des Aufspülmaterials in Bezug auf die Eigenschaften und Variationen der Zuführmerkmale, Sedimentation und Festigungsraten;
- Kontrolle aller potenziellen Freisetzungen in die Umwelt des Unterwassers durch Sickerwasser, Hochwasserereignisse und Emissionen in die Luft.

Der für die Machbarkeitsstudie (BFS) ausgewählte Standort sollte in der abschließenden Bemessungsphase durch ein angemessenes Gleichgewicht zwischen technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Kriterien unter Berücksichtigung der lokalen rechtlichen Rahmenbedingungen begründet werden. Die zum Einholen von Genehmigungen einzureichenden Bemessungsdetails hängen vom spezifischen Regulierungsumfeld ab, jedoch sollte die einzureichende Dokumentation den geplanten Entwurf der MWF und unterstützende Daten enthalten.

9.3 Bemessungselemente

Eine MWF für die Speicherung und langfristige Lagerung hydraulisch eingebrachter Abfälle würde üblicherweise je nach Konfiguration der MWF aus einer oder mehreren Dammaufschüttung(en) und der erforderlichen Infrastruktur bestehen, inklusive Notfall-Überläufe und Bauwerke für Oberflächenabfluss und Umleitungen, Rohrleitungen für Aufspülmaterialien und Wasserrückläufe und Sickerwasser-Ablaufsysteme, die einen sicheren und effizienten Entsorgungsbetrieb ermöglicht. Am Standort einer MWF können zusätzliche Anlagen zum Anstauen mit weiteren Dammaufschüttungen erforderlich sein, um Prozesswasserversorgung in Notfällen zur Verfügung zu stellen oder Sickerwasser und den Abfluss vom Standort zu steuern.

Die MWF sollte daher die Anforderungen in Bezug auf Folgendes erfüllen:

- Bemessung, Bau, Betrieb und Stilllegung in Übereinstimmung mit anwendbaren Rechtsvorschriften und bewährten Verfahrensweisen;
- Sicherstellung des Absetzens und der Festigung feinsten Partikel und die Aufrechterhaltung einer zufriedenstellenden Qualität des Überstands im Rahmen der Entsorgung;
- das Management und/oder Recycling allen Sickerwassers und potenziell kontaminierten Wassers in der MWF;
- die Beschaffenheit der MWF, sodass sie über ihre geplante Lebensdauer die Anforderungen in Bezug auf die Verarbeitungsanlage, die Verfügbarkeit von Land, die Wirtschaftlichkeit des Projekts, umweltbezogene Beschränkungen und die betriebliche Flexibilität erfüllt.
- die sichere Speicherung oder sicheres Überlaufen aller Hochwasserströme von Oberflächenwasser nach Stilllegung des Projekts.

Zusätzlich muss die MWF so bemessen sein, dass sie über den Lebenszyklus der Bergbauanlage sicher und effizient betrieben werden kann. Die Gefährdungen durch extreme Hochwasserereignisse und seismische Ereignisse und deren Auswirkungen sollten bei der Bemessung der MWF berücksichtigt werden und geeignete Sicherheitsfaktoren sollten verwendet werden.

Bei der Auswahl des Standorts und der Bemessung einer Halde sollten z. B. die folgenden langfristigen Faktoren vorausgesehen und berücksichtigt werden:

- Aufnahmevorrichtung für mineralische Abfälle;
- abschließende, abdeckende und bodenbildende Materialien;
- Landbedarf und Vegetation;
- Geländeform;
- Verantwortlichkeit und langfristiges Management.

Die Untersuchungs-, Bemessungs- und Bauphasen einer MWF sind in Tabelle 1 dargestellt.

9.4 Bemessungsparameter

Die Bemessungsprinzipien sollten vom Planer entwickelt werden und in jeder Entwicklungsphase (Tabelle 1) in enger Zusammenarbeit mit dem vom Eigentümer beauftragten IIE überarbeitet werden, der eine Überarbeitung der abschließenden Bemessung und eine Bestätigung durch einen Experten zur Verfügung stellt, aus der hervorgeht, ob der Bau und der Betrieb in Übereinstimmung mit der Bemessung sind. Insbesondere alle Materialparameter, Sicherheits- und Stabilitätsfaktoren und Bewertungen hinsichtlich Hochwasserereignissen sollten bewährten Verfahrensweisen und Kriterien internationaler und nationaler Normen für solche Anlagen entsprechen.

Aufgrund der dynamischen Natur einer MWF und um die Stabilität der Dammaufschüttungen und die andauernde Gültigkeit der Risikobeurteilungen zusammen mit den Normen für Bau und Wartung zu bestätigen, sollten die Bemessung und der Bau regelmäßig unabhängigen Überprüfungen unterzogen werden.

9.5 Risikomanagement

Das Risikomanagement sollte ein zentraler Aspekt der Bemessung einer MWF sein, um sicherzustellen, dass Gefährdungen, die zu schweren Unfällen führen können, identifiziert werden. Weiterhin sollten die erforderlichen Merkmale in die Bemessung, den Bau, den Betrieb, die Wartung, die Stilllegung und die Nachsorgephase einer MWF integriert werden, um solche schweren Unfälle zu vermeiden und deren negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt, inklusive aller grenzüberschreitenden Auswirkungen, zu begrenzen.

Eine anfängliche Risikobeurteilung sollte durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass bewährte technische Verfahren angewendet werden und dass die vorgeschlagenen Techniken unter den spezifischen Umständen und in Bezug auf die folgenden Aspekte am besten geeignet sind:

- Klima;
- Umwelt;
- Sicherheit;
- Technik;
- ingenieurtechnische Aspekte.

Der Bemessungsingenieur sollte für jeden Abschnitt der Anlage ein Risikoregister anlegen und pflegen, das für jedes Bemessungselement entsprechend dem Risiko geeignete Schutzmaßnahmen aufführen sollte.

9.6 Bemessung des Querschnitts der Dammaufschüttung

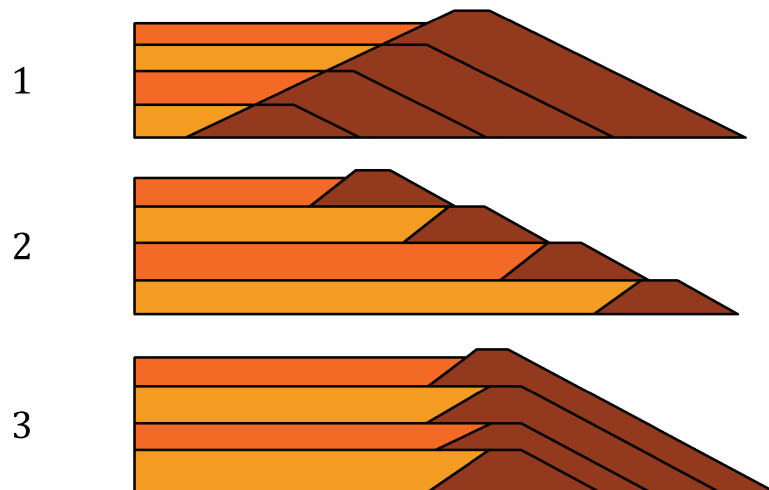
MWFs sind für die Ausführung der folgenden spezifischen Funktionen bestimmt:

- dauerhafte Aufnahme hydraulisch eingebrachter mineralischer Abfälle;
- dauerhafte Aufnahme von potenziellen Schadstoffen wie Hydroxide und Oxide durch Niederschlag und Stabilisierung;
- quantitative(s) und qualitative(s) Lagerung, Recycling und Management von Prozesswasser;
- Kontrolle und Management von Abflüssen und extremen Hochwasserereignissen;
- effektive Sanierung in der Stilllegungsphase.

Der Standort des Projekts bestimmt die Optionen zur Lagerung mineralischer Abfälle und, durch das Verfahren zur Standortwahl, die optimale Konfiguration der MWF. Daraus ergibt sich wiederum der wirtschaftlichste Querschnitt für die Dammaufschüttung und das Layout der MWF, um das Volumen für sichere Lagerung zu maximieren und negative Auswirkungen zu minimieren. Die optimale Konfiguration der MWF hängt von den physikalischen und umweltbezogenen Merkmalen des gewählten Standorts, von wirtschaftlichen Überlegungen, von der bevorzugten Baukonstruktion und letztlich auch vom Standort der MWF relativ zum Verarbeitungswerk ab.

Die Haupttypen von Erddämmen werden oft bezeichnet als:

- Oberwasser, d. h. die Krone des Erddamms verläuft mit ansteigender Höhe der MWF in Richtung des Oberwassers;
- mittig, d. h. die Krone des Erddamms wird vertikal über dem anfänglichen Damm (vor der Deponierung) erhöht;
- Unterwasser, d. h. die Krone des Erddamms verläuft mit ansteigender Höhe der MWF in Richtung des Unterwassers.



Legende

- 1 Bauweise Unterwasser
- 2 Bauweise Oberwasser
- 3 Mittige Bauweise

Bild 6 — Vereinfachte MWF-Querschnitte

Die endgültige Bemessung des Erddamms einer MWF beinhaltet jedoch häufig eine Kombination der beschriebenen Haupttypen von Erddämmen und weist in Europa häufig komplexe Querschnitte auf.

Die Dammaufschüttung enthält einen Strukturabschnitt aus mineralischen Abfällen oder gelieferten Schüttmaterialien zusammen mit den erforderlichen Filterzonen, unterirdischen Abläufen und Sickerwasser-Sammelsystemen. Die Erdarbeiten für den Bau der Dammaufschüttung sollten nach einer geeigneten Spezifikation durchgeführt werden, um deren Eignung für die Eigenschaften der Einbaumaterialien sicherzustellen.

Die Kompatibilitätskriterien sollten auf den gesamten Abschnitt der Dammaufschüttung, einschließlich der Zone zur Deponierung von Aufbereitungsrückständen, angewendet werden. Die Felduntersuchung und Laborprüfungen sollten daher die verfügbaren Baustoffe beurteilen und Folgendes bestimmen und festlegen:

- alle Merkmale der Korngrößenverteilung aller Baustoffe und Aufspülmaterialien vor und nach der Verdichtung;
- die Grenzwerte der Korngrößenverteilung aller Materialien;
- die Neigung aller Einbaumaterialien zu physikalischer oder geochemischer Zersetzung mit der Zeit;
- die Auswahlkriterien für Korngrößenverteilung und Filtermaterialien zur Sicherstellung kurz- und langfristiger Übereinstimmung mit der festgelegten Kompatibilität;
- die CQA-Prüfprotokolle, -Häufigkeiten und zulässige Ausfallraten;
- die Ausfallkriterien und Abhilfemaßnahmen.

Alle oben aufgeführten Punkte sollten in der Erdbauspezifikation und den Bauverfahren eindeutig festgelegt sein.

9.7 Bau von Dammaufschüttungen

9.7.1 Allgemeines

Die meisten MWFs werden in der Bauphase vor der Deponierung von einem aufgeschütteten Erddamm umgeben. Ab der Inbetriebnahme müssen die Dammaufschüttungen im Verlauf des Lebenszyklus der Anlage möglicherweise mehrfach stufenweise erhöht werden.

9.7.2 Aufschüttung vor der Deponierung

Die Aufschüttung vor der Deponierung ist für die Lagerung der anfänglich anfallenden mineralischen Abfälle bemessen und ist allen Dammaufschüttungen von MWFs gemein. Die Aufschüttung stellt ein zentrales Element der Vorbereitungsarbeiten für die Deponierung dar und ist durch den Bau vor der Inbetriebnahme des Verarbeitungswerks verfügbar, bevor geeignete Abfälle aus der Verarbeitung anfallen. Der Querschnitt und die Baustoffe der Aufschüttung vor der Deponierung sind denen von Wasser anstauenden Aufschüttungen sehr ähnlich und werden üblicherweise mit herkömmlichen Verfahren für den Bau von Aufschüttungen hergestellt. Daher kann es sich hierbei, abhängig vom Standort und von der Materialverfügbarkeit, um die folgenden Typen von Erddämmen handeln:

- homogene Erdaufschüttung für niedrige Dämme;
- Steinaufschüttung mit Lehmkern;
- Erd- oder Steinaufschüttung mit wasserseitiger Geomembran;
- Steinschüttdämme mit wasserseitiger Betonschicht, mit oder ohne Asphaltkern;
- Beton.

9.7.3 Stufenweiser Bau von Dammaufschüttungen

In den meisten Projekten für mineralische Abfälle wird die MWF über den Lebenszyklus des Projekts stufenweise erhöht. Die stufenweise Erhöhung sollte entsprechend der Deponierungsanforderungen und/oder finanzieller Einschränkungen und zur Optimierung der Kapitalausgaben und betrieblichen Ausgaben vorgenommen werden.

Die Vorteile des Ansatzes zur stufenweisen Erhöhung sind:

- die Möglichkeit zur Nutzung mineralischer Abfälle bei vorhandener geeigneter Festigkeit und Kompetenz;
- die Finanzierung des Baus über Betriebskosten und nicht über Kapitalkosten;
- die Möglichkeit zur Änderung des Querschnitts zur Anpassung an Veränderungen der Prozesstechnologie, des Mühlendurchsatzes oder der Mineralogie des Erzes.

Die Nachteile der stufenweisen Erhöhung sind die höheren Anforderungen an die Planung, die Bau-CQA und die dauerhafte Stabilität zusammen mit einem größeren Aufwand der Betriebsführung. Die stufenweise Erhöhung kann über viele Zyklen verlaufen, um die benötigten Lagerkapazitäten für Aufspülmaterialien bereitzustellen, und kann in der Folge zusätzliche Vorrichtungen für den Oberflächenabfluss und Notfall-Überläufe erfordern.

Die empfohlenen Bauverfahren für eine MWF-Aufschüttung sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2 — Bauverfahren für eine MWF-Aufschüttung

Bemessungsphasen	Bauphasen	IIE
Vor der Deponierung		
Vorlage der abschließenden Bemessung Bestätigung der behördlichen Zulassung Ausgabe von Konstruktionszeichnungen und Spezifikation Genehmigung der Arbeiten Anfertigung der CQA-Zusammenfassung und des Berichts für die baulichen Deponierungsvorbereitungen Anfertigung detaillierter Bauaufzeichnungen und eines vollständigen Satzes von Ausführungszeichnungen Bestätigung der behördlichen Zulassung für den Beginn der Deponierung bis zu einer vorgegebenen sicheren Füllhöhe	Ernennung eines Auftragnehmers Genehmigung des CQA-Systems des Auftragnehmers Vorlage der CQA-Dateien	unabhängige Bemessungsprüfung Baustellenbesichtigung zur Überprüfung der Arbeiten und der CQA-Dateien Anfertigung des Genehmigungsberichts für die Deponierungsvorbereitungen
Betrieb — Phase 1		
Ernennung eines Planers für Phase 1 Vorlage der abschließenden Bemessung für Phase 1 Bestätigung der behördlichen Zulassung Ausgabe von Konstruktionszeichnungen und Spezifikation Genehmigung der Arbeiten Anfertigung der CQA-Zusammenfassung und des Berichts für die Baumaßnahmen in Phase 1 Anfertigung detaillierter Bauaufzeichnungen und eines vollständigen Satzes von Ausführungszeichnungen Bestätigung der behördlichen Zulassung für Phase 1 der fortgesetzten Deponierung bis zu einer vorgegebenen sicheren Füllhöhe	Ernennung eines Auftragnehmers für Phase 1 Genehmigung des CQA-Systems des Auftragnehmers Vorlage der CQA-Dateien	unabhängige Bemessungsprüfung Baustellenbesichtigung zur Überprüfung der Arbeiten und der CQA-Dateien Anfertigung des Genehmigungsberichts für Phase 1

Bemessungsphasen	Bauphasen	IIE
Betrieb — Phase 2		
Ernennung eines Planers für Phase 2 Vorlage der abschließenden Bemessung für Phase 2 Bestätigung der behördlichen Zulassung Ausgabe von Konstruktionszeichnungen und Spezifikation Genehmigung der Arbeiten Anfertigung der CQA-Zusammenfassung und des Berichts für die Baumaßnahmen in Phase 2 Anfertigung detaillierter Bauaufzeichnungen und eines vollständigen Satzes von Ausführungszeichnungen Bestätigung der behördlichen Zulassung für Phase 2 der fortgesetzten Deponierung bis zu einer vorgegebenen sicheren Füllhöhe	Ernennung eines Auftragnehmers für Phase 2 Genehmigung des CQA-Systems des Auftragnehmers Vorlage der CQA-Dateien	unabhängige Bemessungsprüfung Baustellenbesichtigung zur Überprüfung der Arbeiten und der CQA-Dateien Anfertigung des Genehmigungsberichts für Phase 2
Betrieb — Erhöhung in Phase 3		
nachfolgende Phasen folgen den vorangegangenen Phasen		

9.8 Stabilität der Aufschüttung

9.8.1 Allgemeines

Die Stabilität der Hauptaufschüttung und aller Satteldämme sollte in Bezug auf eine Reihe von Zuständen bewertet und die Bemessung jeder Bauphase überarbeitet werden, um sicherzustellen, dass die Sicherheit der Dammaufschüttungen zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung sichergestellt ist. Materialparameter, Teilsicherheitsbeiwerte und die Stabilitätsbewertung sollten bewährten Verfahrensweisen und Kriterien internationaler und nationaler Normen für solche Anlagen entsprechen. Die Gesamtstabilität sollte mit in der Industrie üblicher Software berechnet werden, wobei übliche und extreme Bedingungen sowie die „Was-wäre-wenn“-Szenarien aus der Risikobeurteilung berücksichtigt werden sollten. Die Stabilitätsanalysen für die Bemessung des Erddamms sollten Folgendes festlegen:

- konservative Basis-Bodenparameter;
- alle potenziellen Ausfallzustände in allen Betriebsszenarien;
- alle potenziellen Ausfallmechanismen, ober- und unterwasserseitig;
- Bodenparameter für jeden Zustand, d. h. dräniert, undränniert und nach der Verflüssigung;
- potenzielle veränderte Spannungszustände als Folge langfristiger Belastungen;

- den geeigneten Stabilitätsalgorithmus, der die nachfolgende Validierung der vorgeschlagenen Analysen sicherstellt;
- kritisches Überprüfungssystem für die Stabilität wie manuelle Berechnungen oder Abschätzungen;
- Überprüfung der Stabilitätsergebnisse durch externe Fachleute (zur Konsistenzsicherung);
- Verfahren zur Erstellung zukunftsfähiger Konzepte für Aufzeichnungen und Analysen.

Die Aufgabenstellung für die Stabilitätsanalysen sollte im Voraus und vor allen Überprüfungen durch Dritte mit dem IIE vereinbart werden. Eine Zusammenfassung empfohlener Sicherheitsfaktoren ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3 — Empfohlene Sicherheitsfaktoren

Lastfall	Mindestsicherheit sfaktor	Analyseverfahren	Bodenparameter
Statische Stabilität			
Langfristig statisch (Nachsorge)	1.5	Grenzgleichgewicht	konsolidiert, undränert
Kurzfristig statisch (Betrieb)	1.3	Grenzgleichgewicht	konsolidiert, undränert
Schnelle Absenkung auf der oberwasserseitigen Böschung (Betrieb)	standortspezifisch, jedoch nie weniger als 1.1	Grenzgleichgewicht	unkonsolidiert, undränert
Dynamische Stabilität			
Nur nicht verflüssigbare Böden bei maximalen Erdbebenbedingungen nach Bemessung oder maximal zu erwartenden Erdbebenbedingungen	1.1	pseudostatisch — sofern anwendbar	konsolidiert, undränert
Nur verflüssigbare Böden bei maximalen Erdbebenbedingungen nach Bemessung oder maximal zu erwartenden Erdbebenbedingungen	standortspezifisch, jedoch nie weniger als 1.1	Restscherfestigkeitsanalyse Verformungsanalyse Finite-Elemente-Analyse	

9.8.2 Dynamische Stabilität

Alle MWFs sollten als in seismisch aktiven Gebieten positioniert angesehen werden und geeignete Erdbeben-codes und seismische Parameter sollten bei der Bemessung der Aufschüttung berücksichtigt werden, nach der Beschreibung in Guidelines to European Practice: „*The Hydraulic Transport and Storage of Extractive Waste*“ (Cambridge, 2018). Zusätzlich muss eine Überprüfung der regionalen und lokalen Seismotektonik durchgeführt werden, um die Anfälligkeit lokaler geologischer Formationen gegenüber extremen seismischen Ereignissen zu ermitteln. Dies ist erforderlich, um sicherzustellen, dass möglicherweise vorhandene aktive Verwerfungszonen nicht durch die Gründung der MWF verlaufen oder darunter zum Vorschein kommen. Die Ergebnisse der regionalen Studie sollten in die abschließenden seismischen Bemessungsaspekte der Aufschüttung einfließen, um sicherzustellen, dass die MWF einem extremen Ereignis standhalten kann. Sicherheitskritische Elemente wie der Grundablass und/oder Überlaufklappen müssen entsprechend bemessen werden, um sicherzustellen, dass solche Bauwerke bei einem solchen Ereignis nicht katastrophal beschädigt werden.

Ein Verlust der Scherfestigkeit der Materialien, die im seismisch belasteten Abschnitt der Dammaufschüttung verwendet werden, sollte berücksichtigt werden und geeignete Sicherheitsfaktoren sollten aus den Dynamikanalysen aller Dammaufschüttungen entnommen werden.

Die Auswirkungen seismischer Störungen des natürlichen Grundes auf dem Gebiet der MWF müssen ebenfalls in Bezug auf das Risiko von Erdbeben, den Auflauf großer Wellen und ein Überströmen der Aufschüttung betrachtet werden.

Zusätzlich wird verwiesen auf ICOLD-Bulletins 148: *Selecting Seismic Parameters for Large Dams — Guidelines* und 139: *Improving Tailings Dam Safety — Critical Aspects of Management, Design, Operation and Closure*.

9.8.3 Sickerwasser-Management

Die Kontrolle und das Management von Sickerwasser aus der Dammaufschüttung und ihren Gründungen ist für die dauerhafte Stabilität der MWF von größter Bedeutung.

Die Aufschüttung sollte für die Vermeidung unkontrollierten Sickerwassers bemessen sein und Folgendes sollte berücksichtigt werden:

- geeignete Materialkompatibilität aller Baustoffe inklusive des Aufspülmaterials selbst;
- kurz- und langfristige Festigungszustände;
- geotechnische und geochemische Zersetzung der Einbaumaterialien;
- langfristige Qualität und das Risiko eines mit der Zeit steigenden hydraulischen Gefälles.

Viele Einbaumaterialien in der Aufschüttung verwittern mit der Zeit und der darauf folgende Zerfall in Partikel kann die Bemessung der Filter unwirksam werden lassen, sofern kein angemessener Sicherheitsfaktor verwendet wurde. Die Risikobeurteilung der Bemessung sollte daher in Bezug auf physikalische Verwitterung und geochemische Auswirkungen durchgeführt werden, da Oxidation zur Entstehung von Hydroxiden führen kann, die im Sickerwasser aus den Schutzbereichen getragen werden, was zu Zusetzungen der Filterbereiche und einem ansteigenden Grundwasserspiegel führt.

Zusätzlich wird verwiesen auf ICOLD-Bulletin 164: *Internal erosion of existing dams, levees and dykes, and their foundations*.

9.9 Bemessung eines Aufspülsystems zur Deponierung

9.9.1 Allgemeines

Das Aufspülsystem für die Entsorgung besteht aus zwei Teilen:

- dem hydraulischen Transport vom Werk zur MWF;
- dem System zur Verteilung und Aufbringung auf die Oberfläche der Anlage.

Bei der Bemessung des Aufspülsystems sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- optimaler Transport vom Verarbeitungswerk zur MWF;
- Integration von Schlammtransport und hydraulischer Verteilung;
- effektive Sedimentation im Rückhaltebecken zur optimalen Setzung von Feststoffen;

- zufriedenstellende physikalische und chemische Klärung des Überstandswassers für die Rückführung zum und Wiederverwendung im Verarbeitungswerk;
- Entsorgungsmanagement zur Maximierung der Dichte der Ablagerung und für eine effektive kurz- und langfristige Festigung;
- wirtschaftliches Management des Entsorgungssystems, um eine sichere und effiziente Deponierung von Aufbereitungsrückständen sicherzustellen;
- kontrolliertes Management gespeicherten Wassers zur Senkung des Risikos unerwünschter Freisetzung und eines stärkeren Aufkommens von Sickerwasser.

9.9.2 Hydraulischer Transport

Bei der Bemessung der Rohrleitung vom Werk zur MWF sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- Dichte des Breis;
- Förderdruck;
- die Abrasivität der Aufbereitungsrückstände in Bezug auf die Beurteilung des Verschleißes und der Lebensdauer von Rohren;
- potenzielle extreme klimatische Bedingungen;
- potenzielle Rohrverstopfungen durch Sedimentation;
- das Risiko von Leckagen und unerwünschter Rohrbrüche;
- die Notwendigkeit der Führung von Rohrleitungen zwischen Schutzdämmen und kleiner Anlagen zum Anstauen in topografischen Vertiefungen;
- chemischer Niederschlag in der Rohrleitung, insbesondere von Gips, der zu verringerter hydraulischer Kapazität führt;
- Beschädigungen durch Verkehr;
- die Sicherheit der Rohrleitung gegen Diebstahl von Steuereinheiten oder unerwünschte Bedienung von Ventilen und anderen Vandalismus;
- Zugänglichkeit des Rohrleitungssystems zu Inspektions- und Wartungszwecken.

9.9.3 Hydraulische Deponierung

Die Wahl des Verfahrens zur hydraulischen Deponierung wird beeinflusst durch:

- die Konfiguration der MWF;
- die Infrastruktur für den hydraulischen Transport;
- die Korngrößenverteilung und Merkmale der Aufbereitungsrückstände;
- die Bedingungen der Genehmigung.

- Die Bemessung eines Entsorgungssystems sollte:
- die Integration mit der internen MWF-Dränanlage mit dem Ziel berücksichtigen, die Festigung zu maximieren und die Stabilität zu erhöhen;
- eine frühzeitige Sanierung und Landschaftsgestaltung zum Zeitpunkt der Stilllegung oder früher ermöglichen.

9.9.4 Deponierung unter Wasser

Bei der Bemessung eines Systems zur Deponierung unter Wasser sollte Folgendes beachtet werden:

- die Dammaufschüttung sollte das Oberflächenwasser ohne Erhöhungen des Porenwasserdrucks, übermäßiges Auftreten von Sickerwasser oder das Risiko interner Erosion zurückhalten können;
- Verteilung der feinkörnigen Abfälle über das Rückhaltebecken mit dem Ziel, eine gleichförmige Oberfläche unter Wasser auszubilden.

Bei der Bemessung des Verteilungssystems sollte beachtet werden, dass unter Wasser deponierte feinkörnige Abfälle dort zu steileren Böschungen als bei der freiliegenden Deponierung führen.

9.9.5 Freiliegende Deponierung

Eine freiliegende Deponierung unter Verwendung eines Verteilungssystems wie z. B. offene Rohrenden, Stützen, Sprühbalken oder Hydrozyklone sollte im Hinblick auf Folgendes bemessen werden:

- Maximierung der Lagerkapazität;
- Maximierung der mit der Wasserspeicherung und -rückführung kompatiblen Ablagerungslänge;
- Maximierung der Sedimentation und Minimierung der Rückführung von Feststoffen zum Werk;
- Minimierung der Aufgabegeschwindigkeit zur Vermeidung übermäßiger Erosion und erneuter Deponierung.

Die minimale Sinkgeschwindigkeit der Aufbereitungsrückstände, die im Allgemeinen als die Geschwindigkeit definiert ist, bei der sich 95 % der Feststoffe absetzen, sollte für die Festlegung der minimalen Wasseroberfläche des Teichs im Betrieb verwendet werden. Weiterhin sollte das Deponierungssystem eine regelmäßige Rotation der Deponierungspunkte vorsehen, um:

- die Bildung gleichmäßiger Ablagerungen am Umfang zu begünstigen;
- eine laterale Dränierung durch die Dammaufschüttung zu begünstigen;
- dünne Schichten abzulagern und so Verdunstung und Austrocknung zu begünstigen;
- ein erhöhtes Verhältnis von horizontaler zu vertikaler Durchlässigkeit für eine stärkere Festigung zu schaffen;
- durch die Kontrolle des Standorts und die Höhe des Grundwasserspiegels die Stabilität der Aufschüttung zu verbessern.

9.10 Wassermanagement

9.10.1 Allgemeines

Bei der Bemessung des Wassermanagementsystems für die MWF sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- die konventionellen, auf alle (anstauenden) Dammaufschüttungen anwendbaren hydrologischen Parameter;
- die Wasserbilanz der Bergbaueinrichtung;
- die maximalen Anforderungen an die Lagerfläche und die Sedimentation;
- ein flexibles System für den Oberflächenabfluss für eine kontinuierliche Wasserversorgung des Werks;
- Einhaltung aller Umgebungsbedingungen.

9.10.2 Wasserbilanz

Eine MWF sollte eine wirtschaftliche Entsorgung mineralischer Abfälle und das Management aller Zu- und Abflüsse von Wasser sicherstellen. Unter üblichen Betriebsbedingungen sollte sich die jährliche Wasserbilanz einer MWF mit langfristigen Anforderungen an die Lagerung und insbesondere saisonalen Überschüssen oder Defiziten befassen und die folgenden Elemente beinhalten:

- Prozessversorgung;
- andere potenzielle industrielle Anforderungen;
- Niederschlag aus Abwässern und Oberwasser;
- Verluste aufgrund von Sickerwasser;
- Feuchteinschluss in abgesetzten Feststoffen;
- Verdunstungsverluste;
- Zufluss aus der Entwässerung des Bergwerks oder des Tagebaus;
- Hochwassermanagement.

9.10.3 Hochwassermanagement

Die MWF muss nach der anwendbaren Hochwasserschutznorm robust sein, weshalb bei einer Anlage „ohne kontrollierte Freisetzung“ jederzeit eine ausreichende Freibordhöhe vorhanden sein sollte, um anfallendes Wasser dieses Ereignisses aufzunehmen und folgende Anforderungen zu erfüllen:

- die für die MWF herangezogene Hochwasserschutznorm sollte in der bestimmten Risikokategorie in Übereinstimmung mit den aktuellen nationalen Leitlinien für Dämme sein, im Allgemeinen jedoch am PMF ausgerichtet sein;
- eine MWF sollte über ausreichende Lagerkapazitäten oder einen Notfall-Überlauf verfügen, der so bemessen ist, dass er in jeder Bauphase eine sichere Ableitung des PMF sicherstellt, da ein Überströmen der Dammaufschüttung nur in seltenen Fällen oder überhaupt nicht zulässig ist;
- die technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen einer Rückhaltung des PMF kann einen anderen Ansatz des Hochwassermanagements erfordern;

- in einigen Rechtsprechungen ist es eine anerkannte Praxis, eine MWF für alle durch Sturmereignisse verursachten Hochwasser auf Grundlage des schwersten Ereignisses in 1 000 Jahren zur Rückhaltung ohne Überlauf zu bemessen und Hochwasser aufgrund schwererer Sturmereignisse bis einschließlich dem PMF sicher abzuleiten;
- die Annahme der Bemessungskriterien muss auf Grundlage einer geeigneten Risikobeurteilung erfolgen, um sicherzustellen, dass sich der Austrag von Hochwasser nicht nachteilig auf die Umwelt des Unterwassers auswirkt;
- die MWF sollte über eine geeignete Vorrichtung zur hydraulischen Lenkung und einen Ablaufkanal für das extreme Ereignis verfügen. Die Bemessungskriterien sollten die vollständige Aufnahme und Kontrolle der gelenkten Strömungsspitzen bis zu einem Punkt jenseits des Dammfußes vorsehen, an dem die Strömung aus dem Kanal ein minimales Risiko für die Dammaufschüttung darstellt.
- wenn das Projekt einer Überprüfung und Abnahme durch Dritte zu unterziehen ist, sollte die Aufgabenstellung für die Hochwasserstudie im Voraus mit dem IIE vereinbart werden.

Es sollte ein Bauingenieur mit geeigneter Qualifikation und ausreichender Erfahrung im Bereich der Hydrologie hinzugezogen werden, um Beratung hinsichtlich der anzuwendenden Hochwasserschutznormen zu bieten, um sicherzustellen, dass die erforderliche hydrologische Bewertung der nationalen Norm entspricht.

9.10.4 Notfall-Überlauf

Eine MWF muss so bemessen sein, dass sie die durch das PMF verursachte Hochwasser entweder aufnimmt oder über einen Notfall-Überlauf in den Einzugsbereich des Unterwassers ableitet. Bei der letzteren Option sollten das zusätzliche Hochwasserrisiko für das Unterwasser und die potenziellen Umweltauswirkungen in Übereinstimmung mit den Einschränkungen der Genehmigung betrachtet werden.

Die Bemessungskriterien für einen Notfall-Überlauf müssen die Aufnahme und Kontrolle der gelenkten Strömungsspitzen bis zu dem Punkt jenseits des Dammfußes vorsehen, an dem die Strömung aus dem Kanal ein minimales Risiko für die Dammaufschüttung darstellt.

9.10.5 Bemessung des Oberflächenabflusses

Ein System für Oberflächenabfluss für die MWF sollte als Teil des Wassermanagements mit folgenden Zielen in Betracht gezogen werden:

- Ermöglichung der Sedimentation der feinkörnigsten Partikelfraktion der mineralischen Abfälle;
- Erfüllung der Umwelt- und Prozesskriterien in Bezug auf die Qualität und Quantität des Wassers;
- Erfüllung der betrieblichen Anforderungen an die Freibordhöhe.

Das Bauwerk für den Oberflächenabfluss agiert primär als Rückführsystem zur Wiederverwertung des gespeicherten Wassers im Werk. Der Oberflächenabfluss sollte daher zusammen mit dem System für das Hochwassermanagement bemessen werden. In manchen MWFs kann er auch als Notfall-Überlauf dienen, wenn der Einzugsbereich begrenzt und der Abfluss sichergestellt werden kann.

Der Oberflächenabfluss kann aus einer der Optionen in Tabelle 4 oder aus einer Kombination daraus bestehen.

Tabelle 4 — Zusammenfassung Optionen für den Oberflächenabfluss

Typ des Oberflächenabflusses	Bauwerk für Oberflächenabfluss	Vorteile	Risiken
Schwerkraft	zentraler vertikaler Turm mit langem horizontalem Ablauf	gute Kontrolle des Rückhaltebeckens und der Ablagerungen am Umfang erhält Rückhaltebecken mit Abstand von den Aufschüttungen	schwieriger Zugang zur Erhöhung des Oberwasserspiegels potenziell große Belastungen der horizontalen und vertikalen Bauwerke Eindringen der Aufbereitungsrückstände in Fugen führt zu asymmetrischer Belastung
	Ablaufrinne am Umfang	geringeres strukturelles Risiko einfacher Zugang zur Erhöhung des Oberwasserspiegels durch mehrere Abläufe auf vorgegebenen vertikalen Ebenen liegen potenziell hohe Belastungen nur an horizontalen Strukturen an	erhält Rückhaltebecken an der umgebenden Aufschüttung verringert die Flexibilität bei der Deponierung potenziell große Belastungen der horizontalen und vertikalen Bauwerke
Siphon	Austrag über die Krone der Aufschüttung durch fest installierte Rohrleitung	geringeres strukturelles Risiko einfacher Zugang zur Erhöhung des Oberwasserspiegels durch mehrere Abläufe auf vorgegebenen vertikalen Ebenen liegen potenziell hohe Belastungen nur an horizontalen Strukturen an	erhält Rückhaltebecken an der umgebenden Aufschüttung verringert die Flexibilität bei der Deponierung Erosion und Versagen durch Rohrbruch auf der Aufschüttung erfordert geregelten Notfallschutz
	Austrag über die Aufschüttung durch Fallschacht	geringeres strukturelles Risiko einfacher Zugang zur Erhöhung des Oberwasserspiegels durch mehrere Abläufe auf vorgegebenen vertikalen Ebenen liegen potenziell hohe Belastungen nur an horizontalen Strukturen an	erhält Rückhaltebecken an der umgebenden Aufschüttung verringert die Flexibilität bei der Deponierung potenziell große Belastungen der horizontalen und vertikalen Bauwerke erfordert geregelten Notfallschutz

Typ des Oberflächenabflusses	Bauwerk für Oberflächenabfluss	Vorteile	Risiken
Pumpe	schwimmender Ponton	geringstes strukturelles Risiko automatische Anpassung an Oberwasserspiegel	erhält Rückhaltebecken an der umgebenden Aufschüttung verringert die Flexibilität bei der Deponierung Erosion und Versagen durch Rohrbruch auf der Aufschüttung erfordert geregelten Notfallschutz
	feste Installation in Ablaufrinne	geringeres strukturelles Risiko einfacher Zugang zur Erhöhung des Oberwasserspiegels durch mehrere Abläufe auf vorgegebenen vertikalen Ebenen liegen potenziell hohe Belastungen nur an horizontalen Strukturen an	erhält Rückhaltebecken an der umgebenden Aufschüttung verringert die Flexibilität bei der Deponierung potenziell große Belastungen der horizontalen und vertikalen Bauwerke

9.11 Handbuch für Betrieb, Wartung und Überwachung (OMS)

Das OMS-Handbuch muss während der abschließenden (detaillierten) Bemessungsphase erstellt werden und sollte als fortzuschreibendes Dokument angesehen werden. Das Handbuch muss Änderungen und Überarbeitungen im fortlaufenden Betrieb der MWF unterliegen. Solche Modifikationen resultieren häufig aus den Ergebnissen der behördlichen oder unabhängigen technischen Inspektionen. Typische Inhalte eines OMS-Handbuchs sind:

- Einleitung;
- Hintergrund/Verlauf des Projekts;
- Projektbeschreibung;
- Transport und Lagerung des Aufspülmaterials;
- Hydrologie/Seismologie;
- Umgebungskontrollen;
- Messgeräteausrüstung;
- technische Inspektions- und Überwachungsrouinen;
- Bilder;
- Anhänge;

- A Kontaktinformationen aller (gesetzlich vorgeschriebener) Beauftragen/Inspekture;
- B Aufzeichnungen aus technischen Inspektionen und Überwachung;
- C Wartungsverfahren für Messgeräte;
- D Protokolle für die Gefahrenabwehr.

Daher sollte das Handbuch Folgendes umfassen:

- eine zusammenfassende Beschreibung der MWF mit wichtigen Abmessungen und Merkmalen;
- eine Beschreibung der zu verwendenden Verfahren zur hydraulischen Deponierung und der erforderlichen Steuerungen für Transport und Entsorgung;
- eine detaillierte Beschreibung der Verfahren für die technische Inspektion der unterschiedlichen Elemente der MWF, für die Aufzeichnung wichtiger Informationen und für das Anfertigen der Aufzeichnungen der technischen Inspektion;
- spezifische Betriebsanweisungen für extreme Wetterbedingungen und unerwünschte Ereignisse zusammen mit Routinen für die Berichterstellung im Normalbetrieb und in Notfällen;
- die primären betrieblichen Kriterien für Elemente wie minimale Freibordhöhe, Füllstand des Rückhaltebeckens, auftretendes Sickerwasser und andere wichtige Daten bezüglich Stabilität und Leistung zusammen mit den erforderlichen Aktivitäten bezüglich Berichterstellung und Schutzmaßnahmen.

9.12 Notfallplanung

Die Bergbauabfallrichtlinie gibt an, dass die Notfallplanung ein wesentlicher Bestandteil der Bemessung aller MWFs der Kategorie A ist.

Die Notfallplanung ist erforderlich, um:

- die Auswirkungen eines Versagens auf das Unterwasser zu bewerten;
- den Umfang und Schweregrad aller sozialen und ökologischen Auswirkungen zu bestimmen;
- Schutzmaßnahmen und den Aktionsplan für Maßnahmen außerhalb des Betriebsgeländes zu entwickeln.

Vor dem Betriebsbeginn sollte jeder Betreiber einer Anlage der Kategorie A:

- Regeln zur Vermeidung schwerer Unfälle für die Bewirtschaftung mineralischer Abfälle aufstellen und für deren Umsetzung ein Sicherheitsmanagementsystem einführen;
- einen internen Notfallplan erstellen, der die bei einem Unfall vor Ort zu treffenden Maßnahmen festlegt.

Die geeignete, für die Entwicklung eines Notfallplans heranzuziehende Versagensart erfordert eine sachkundige Beurteilung und die Berücksichtigung historischer Versagensereignisse sowie des Verlaufs der Bemessung und des Baus der Anlage. Alle möglichen Ausfallmechanismen sollten festgelegt werden, um den wahrscheinlichsten Fall mit einer realistischen Wahrscheinlichkeit seines Auftretens zu ermitteln und die Bruchkonfiguration auf dieser Grundlage zu entwickeln. Dadurch kann die Ganglinie des freigesetzten Austrags festgelegt und in ein genormtes (nationales) Hochwasserschutzmodell integriert werden, mit dem die Spitzengeschwindigkeiten des Austrags und die Strömungstiefen im Einzugsbereich des Unterwassers bestimmt werden können.

9.13 Stilllegung

9.13.1 Planung und Bemessung der Stilllegung

Der Stilllegungs- und Sanierungsprozess sollte ein zentraler Parameter der Bemessung und ein integraler Teil des Betriebs sein. Die Bemessung der Stilllegung erfordert einen Satz eindeutiger Nachsorgeziele für die Anlage, die auf der Geländeform und der weiteren Nutzung basieren, und die zentralen Elemente des Stilllegungsplans sollten Folgendes umfassen:

- Bewirtschaftung und sichere Einbringung oder Behandlung aller während des Betriebs anfallenden Hochrisikomaterialien;
- Entwicklung einer bautechnischen Stilllegung zur Vermeidung aller geotechnischen und geochemischen Risiken;
- Minimierung der Wasserspeicherung und Sicherstellung geeigneter langfristiger Dränierung, Hochwasserschutzmaßnahmen und Wassermanagement am Standort, sofern praktikabel;
- Entwicklung der Bewirtschaftung und Kontrolle des Sickerwassers, inklusive einer Vorrichtung für passive oder aktive Wasserbehandlung für den endgültigen Austrag;
- Entwicklung geeigneter Landnutzungsziele;
- Einführung einer eindeutigen Strategie für die zukünftige Eigentümerstruktur und die weitere Nutzung, inklusive Standortbewirtschaftung und Übertragung der Zuständigkeiten;
- vorausgesehene mögliche Veränderungen der internen und externen Kräfte in der Zukunft;
- Festlegung angemessener finanzieller Bestimmungen.

Die Bemessung der MWF muss für die Zeit zum Ende des Lebenszyklus der Anlage eine Strategie für deren Betrieb und Bewirtschaftung beinhalten, die üblicherweise Folgendes beinhalten sollte:

- Vorschlag für die Geländeform nach der Stilllegung;
- Außerbetriebnahme des Aufspülsystems und anderer Infrastruktur;
- bautechnische Veränderungen der Geländeform und der Dränierung an der Oberfläche und im Inneren;
- Stabilisierung der Oberfläche der mineralischen Abfälle;
- langfristige Wartung und Bewirtschaftung, um eine dauerhafte Stabilität der Anlage sicherzustellen.

Spezifische Probleme mit Bezug zur ausgewählten langfristigen Bewirtschaftung der MWF sollten bei der Festlegung der endgültigen Landnutzung in Betracht gezogen werden. Unter Betrachtung der Anfälligkeit für langfristige Schäden in der rückgebauten Anlage und deren Ursachen sollten die folgenden Optionen in Betracht gezogen werden:

- natürliche Wiederansiedlung lokaler Vegetation;
- Entwicklung für die Landwirtschaft;
- Entwicklung für alternative industrielle Nutzung;
- Verwendung der Infrastruktur für die wirtschaftliche Entwicklung der Region.

Unabhängig von der Entscheidung sollten MWFs so saniert werden, dass die endgültige Landnutzung und Morphologie des Geländes mit den Plänen der Gemeinde für die umgebenden Gebiete kompatibel ist.

Die Stilllegung einer MWF sollte in Übereinstimmung mit den Anforderungen in EWD 2006/21/EG initiiert werden.

9.13.2 Fortlaufende Überarbeitung des Stilllegungsplans

Der Stilllegungsplan und seine Implementierung sollte über die Nutzungsdauer einer MWF regelmäßig hinsichtlich folgender Punkte überprüft und aktualisiert werden:

- alle Änderungen an der Bemessung oder dem Betrieb;
- Untersuchungen des vorhergesehenen geotechnischen und geochemischen Verhaltens der Dammaufschüttung und ihrer Bestandteile;
- Untersuchungen zur Bewertung der Eignung bodenbildender Materialien;
- Bewertung von Aufzeichnungen der Piezometrik und des Sickerwassers der Dammaufschüttung und des deponierten Aufspülmaterials.

Weitere erforderliche Arbeiten in der Zeit vor der Stilllegung sollten Folgendes beinhalten:

- Beginn von Versuchen zur Untersuchung, Prüfung und Demonstration von Sanierungslösungen für Überdeckungsmaterialien und Vegetation;
- kontinuierliche Sanierung der Aufnahmevorrichtungen und der Entsorgungsbereiche;
- Beginn bautechnischer Arbeiten zur Herstellung der abschließenden Geländeform, bevor der Betrieb zur Mineralgewinnung eingestellt wird.

Der aktualisierte Stilllegungsplan muss im OMS-Handbuch und im Abfallwirtschaftsplan integriert und dokumentiert werden.

Zusätzlich wird verwiesen auf ICOLD-Bulletin 153: *Sustainable Design and Post-closure Performance of Tailings Dams*.

9.13.3 Nachsorgeanforderungen

Inspektionen und Überwachung im Rahmen der Nachsorge sollten durchgeführt werden, bis die MWF geotechnisch und geochemisch stabil ist und kein inakzeptables Risiko mehr für die Umwelt darstellt.

10 Qualitätslenkung der Bauausführung

10.1 Allgemeines

Der Abfallwirtschaftsplan sollte entweder auf einen Managementplan für die Bauausführung (en: Construction Management Plan, CMP) verweisen oder diesen beinhalten. Dieser CMP enthält Einzelheiten zum in jeder Bauphase des Erddamms einzusetzenden Qualitätssicherungs-/Qualitätslenkungssystem. Der CMP sollte das übergeordnete System zur Qualitätslenkung am Standort der Anlage für mineralische Abfälle enthalten und Teil des Plans für Qualitätsmanagement sein. Allgemeine Empfehlungen und Leitlinien in Bezug auf die Qualitätssicherung und Qualitätslenkung von Ingenieurbauten und Gebäuden sind in EN 16907-5 enthalten. Das detaillierte Qualitätslenkungssystem für das tägliche Management der Bauausführung sollte in der Bauspezifikation entwickelt und im OMS-Handbuch mit allen Details aufgeführt werden.

10.2 CQA der Dammaufschüttung

Die Dammaufschüttung einer MWF wird üblicherweise als großer Erdschüttdamm ausgeführt, dessen Größe häufig der von Rückhaltebecken zur Wasserversorgung ähnlich ist. Daher sollten Bemessungs- und Bau-standards erstellt werden, um sicherzustellen, dass die Aufschüttung in Übereinstimmung mit den geeigneten nationalen oder internationalen Leitfäden wie folgt gebaut und überwacht wird:

- die Bauspezifikation und das vorgeschlagene Qualitätssicherungssystem sollten Teil des Genehmigungsprozesses sein und sollten daher vollständig in die Bemessung integriert sein;
- jedes im Abschnitt der Aufschüttung zu verwendende Material sollte in Bezug auf seine Herkunft, Geologie, geotechnischen und geochemischen Eigenschaften, sein Volumen und seine Verfügbarkeit vollständig beschrieben sein;
- die Bauunterlagen sollten die Verfahren für den Aushub der Baugrube und den Transport aller im Damm zu verwendenden Materialien festlegen und angeben, ob sie aus Entnahmestellen oder aus mineralischen Abfällen (Tagebau oder unter Tage) zu entnehmen sind;
- der Probenahme- und Prüfplan sollte auf Grundlage von Mindestprüfhäufigkeiten und festgelegten akzeptablen Raten der Nichterfüllung von Anforderungen (Tabelle 5) angefertigt werden.

Der Bau aller Erhöhungsstufen sollte in Übereinstimmung mit einem geeigneten CQA-Plan ausgeführt werden, der im OMS-Handbuch detailliert aufgeführt sein sollte.

Tabelle 5 — Typische Prüfhäufigkeit für Schüttmaterialien für Erddämme und geologische Barrieren

Baubereich	Partikelgröße	Wassergehalt und Atterberg-Grenzwerte	<i>In-situ</i> -Dichte und Proctor-Optimum	<i>In-situ</i> -Durchlässigkeit
Lehmkern	1 je 500 m ³	1 je 500 m ³	1 je 500 m ³	
Geologische Basisabdichtung	1 je 250 m ³	1 je 250 m ³	1 je 400 m ³	1 je 1 000 m ³
Filtersystem	1 je 500 m ³	1 je 500 m ³	1 je 500 m ³	
Bereiche mit unterirdischer Dränierung	1 je 500 m ³	1 je 500 m ³	1 je 500 m ³	
Erdaufschüttungsbereich	1 je 1 000 m ³	1 je 1 000 m ³	1 je 1 000 m ³	
Steinaufschüttungsbereich	1 je 5 000 m ³	körnungsabhängig	1 je 5 000 m ³	
Schwere Steinaufschüttung	1 je 5 000 m ³	körnungsabhängig	1 je 5 000 m ³	

10.3 Qualitätslenkung der Entsorgung

Der Abfallwirtschaftsplan (WMP) sollte die allgemeinen Kriterien für die Entsorgung mineralischer Abfälle in der MWF festlegen, was auch die erwartete kurz- und langfristige *In-situ*-Dichte in der MWF und somit die Erhöhungsrate und die aktuellen Anforderungen an die Lagerung beinhalten sollte. Daher sind regelmäßige Überprüfungen der Qualität der mineralischen Abfälle über die gesamte Nutzungsdauer erforderlich, um:

- die Verfügbarkeit geeigneter Lagerkapazitäten sicherzustellen;
- das Erreichen der festgelegten Sicherheitsmargen und der Anforderungen an die Freibordhöhe jederzeit sicherzustellen;
- die Auswirkungen von Änderungen der Erzgeologie, der Mahlung oder von Prozessen des WMP zu bewerten.