

## E 1-1 Geotechnische Standortuntersuchung

Juli 2010

### 1 Vorbemerkungen

Der Untergrund einer Deponie soll auf Grund seiner geringen Durchlässigkeit, seiner Mächtigkeit und Homogenität sowie seines Schadstoffrückhaltevermögens eine Schadstoffausbreitung aus der Deponie maßgeblich behindern können (Wirkung als geologische Barriere). Des Weiteren muss der Untergrund sämtliche bodenmechanischen Belastungen aus der Deponie aufnehmen können, auftretende Setzungen dürfen keine Schäden am Basisabdichtungs- und Sickerwassersammelsystem verursachen.

Die Anforderungen an den Standort, die geologische Barriere und das Basisabdichtungssystem von Deponien regelt die DEPONIEVERORDNUNG (DEPV 2009).

Die Empfehlungen E 1-1 bis E 1-4 behandeln die Untersuchung der geologischen Barriere von oberirdischen Deponien und Altlasten. Für Untersuchungen von Standorten auf verfüllten Gruben, Tagebauen und Tagebau-Restlöchern gilt die Empfehlung E 1-5.

### 2 Aufgabenstellung

#### 2.1 Allgemeines

Für in Aussicht genommene neue Deponiestandorte ist eine sorgfältige Erkundung und Beschreibung des Untergrundes erforderlich.

Art und Umfang der geotechnischen Erkundungen hängen von folgenden Faktoren ab:

- Planungsstadium nach E 2-1  
(Studie, Entwurf, Genehmigungs- oder Ausführungsplanung)
- Gesamtsicherheitskonzept nach E 2-1, Abschnitt 2  
(Sicherheitselemente bzw. „Barrieren“).
- Morphologie und Infrastruktur des Gebietes
- geologisch-hydrogeologische Situation.

Für die Eignungsbeurteilung eines Deponiestandortes sind genaue Kenntnisse erforderlich über:

- Morphologie
- geologischer Aufbau, insbesondere Ausbildung, Verbreitung und Mächtigkeit der Geologischen Barriere

- tektonische Struktur
- tieferer Untergrund, wenn darin Hohlräume oder lösliche Gesteine vorkommen (Karst, Gips-, Anhydrit- und Salzeinlagerungen)
- Erdbebengefährdung
- hydrogeologischer Aufbau, insbesondere Verbreitung von Grundwasserleitern und –stauern sowie deren hydraulische Parameter
- Richtung und Geschwindigkeit der Grundwasserströmung
- bodenmechanische Eigenschaften des Untergrundes als Deponieauflager

## **2.2 Zusammensetzung und Verbreitung von Lockergesteinen**

Für die Beurteilung des Untergrundes am Standort muss bekannt sein:

- Zusammensetzung, bestimmende Eigenschaften (z.B. Korngrößenverteilung, Tonminerale, pH-Wert, Redoxpotential, Karbonatgehalt) und Schichtenfolge der Gesteine
- horizontale und vertikale Verbreitung der Schichten sowie fazielle Beständigkeit
- Porenraum (effektives Porenvolumen)
- Durchlässigkeit für Wasser und kontaminiertes Sickerwasser (Anorganika/ Organika sowie Schadstoffe in Phase)
- Adsorptions- und Retardationsvermögen
- Erosions- und Suffosionsbeständigkeit
- Spannungs-Verformungs-Verhalten.

## **2.3 Ausbildung und Lagerung der Festgesteine**

Eine Lockergesteinsdecke über Festgesteinen kann so geringmächtig oder so ungünstig ausgebildet sein, dass letztere in die Erkundung mit einbezogen werden müssen. Hier ist auf folgende Faktoren zu achten:

- Gesteinsart, mineralogische Zusammensetzung und stratigraphische Einheit
- petrographische Anisotropien im Gebirge
- Verwitterungszustand und Verwitterungsbeständigkeit
- Lösungsverhalten der Gesteine
- Tektonische Struktur, Gefügedaten
- Verkarstung und Erdfallgefährdung
- Verformungsverhalten des Gebirges
- Gebirgs- und Gesteinsdurchlässigkeit für Wasser, kontaminiertes Sickerwasser, Gase und flüssige Schadstoffe in Phase (Kohlenwasserstoffe etc.).

## **2.4 Erfassung der hydrogeologischen Gegebenheiten**

Unzulässige Beeinflussungen von Grundwasser und natürlichen Vorflutern durch Deponien und Altlasten müssen verhindert werden. Vor allem genutzte

Grundwasservorkommen genießen dabei einen besonderen Schutz. Deshalb sind umfassende Kenntnisse der Grundwasserverhältnisse mit folgenden Einzelinformationen erforderlich:

- Grundwasserstand, Fließrichtung,
- Gefälle und Fließgeschwindigkeit mit Angabe langjähriger und jahreszeitlicher Schwankungen
- Adsorptions- und Retardationsvermögen der Grundwasserleiter und -stauer
- Gebirgsdurchlässigkeit (horizontal und vertikal) bzw. Transmissivität der anstehenden Schichten mit maximalen und minimalen Werten
- Verbreitung, Mächtigkeit und Tiefenlage von Grundwasserstauern und Grundwasserleitern
- Angabe evtl. vorhandener Quellaustritte
- Vorflutverhältnisse
- Grundwasserstockwerke mit Angabe der Druckhöhen des ggf. gespannten Grundwassers, ggf. Abstandsgeschwindigkeiten in den einzelnen Stockwerken
- Hydrochemische Verhältnisse einschließlich der Erfassung des geogenen Stoffinventars, Grundwasserhygiene, ggf. Altersbestimmung
- Wasserschutzzonen, Wasservorranggebiete
- Grundwasserentnahmen und deren Auswirkungen
- Grundwasserrechte
- Einfluss von zeitlich begrenzten oder langfristigen Absenkungen, Wiederanstieg und Entnahme von Grundwasser bzw. Grundwasseranreicherungen in der Zukunft
- Einfluss benachbarter offener Gewässer und deren veränderliche Oberfläche sowie Einspeisung in das Grundwasser
- Lokaler Wasserhaushalt mit: Niederschlagshöhen, Oberflächenabfluss, Versickerungsrate, Verdunstung, Grundwasserneubildung.

## **2.5 Beachtung spezieller Faktoren**

Frühere Eingriffe in den Untergrund können erhebliche Beeinträchtigungen der natürlichen Gegebenheiten verursacht haben. Der Anlage von Deponien können schützenswerte Rohstofflagerstätten und die Erhaltungswürdigkeit von Bodendenkmälern entgegenstehen. Die nachstehend aufgeführten Punkte sind in die Erkundung mit einzubeziehen:

- Standsicherheit vorhandener offener und verdeckter Böschungen von Abgrabungen
- Verschlussmöglichkeit evtl. vorhandener ehemaliger Stollen
- Bodensenkungen durch früheren oder noch betriebenen Bergbau
- Vorhandensein abbauwürdiger Rohstoffe im Untergrund
- Vorkommen von geologischen und archäologischen Denkmälern
- Vorhandensein alter Halden oder Auffüllungen
- Geogen bedingte chemische Verhältnisse am Standort.

### **3 Bestandsaufnahme**

Zur Bestandsaufnahme gehören die Zusammenstellung aller Informationen aus Archiven, geowissenschaftlichen und topografischen Karten, meteorologischen Daten, Luft-, evtl. Weltraumbildern (schwarzweiß, color-infrarot und thermal-infrarot), Geländegestaltung und -nutzung aus dem Einfluss früherer Untergrundeingriffe sowie aus wasserwirtschaftlichen Rahmendaten und die Auswertung vorhandener Schichtenverzeichnisse von Bohrungen. Neben geologischen und hydrogeologischen Karten können bodenkundliche und lagerstättenkundliche Kartenwerke, aber auch regionalgeologische Veröffentlichungen wertvolle Hinweise auf den Untergrund liefern.

Geländebegehungen mit Aufnahme und Beurteilung der Aufschlüsse, die einen Einblick in den Untergrund gewähren, sind unerlässlich.

## **4 Felduntersuchungen**

### **4.1 Allgemeines**

Die geotechnische Erkundung des Standortes einer Deponie bzw. Altlast muss ausgehen von einer sorgfältigen Bestandsaufnahme, die in die Ausarbeitung eines Untersuchungsprogramms für Feld- und Laborversuche mündet. Oft wird sich der endgültige Umfang der Untersuchungen erst mit dem Fortgang der speziellen Erkundungen ergeben.

Einen direkten Einblick in den Untergrund geben Bohrungen und Schürfe, in besonderen Fällen auch Schächte und Untersuchungsstollen. Bohrungen ergeben punktförmige Aufschlüsse der Untergrundbeschaffenheit. Anisotropien, die aufgrund wechselnder Ablagerungsbedingungen vorkommen können, erfordern zur Bewertung der Barrierewirkung ein dichteres Bohrnetz oder entsprechend längere Schürfgräben. Als indirekte Methoden können geophysikalische Verfahren hilfreich sein, insbesondere dann, wenn es um die Erkundung großer Flächen geht.

Bei der Ausführung der Aufschlüsse und der Probennahme sowie beim Benennen der Boden- und Felsarten sind DIN 4020, DIN EN ISO 22475-1 sowie DIN EN ISO 14688 und DIN EN ISO 14689 zu beachten. Ergänzend hierzu sollte eine fotografische Dokumentation der entnommenen Proben und der Schürfe erfolgen.

Die Untersuchungen des Untergrundes haben den gesamten Deponiebereich und die Umgebung zu erfassen und aufgrund der ermittelten hydrogeologischen Situation des Standortes eine mögliche Beeinflussung des Grundwassers zu berücksichtigen. Bei der Aufschlusstiefe ist auch der Tiefeneinfluss von Setzungen durch die Deponieauflast und die Wirkung einer eventuell vorhandenen vertikalen hydraulischen Verbindung zwischen höheren und tiefergelegenen Grundwasserhorizonten zu beachten.

Bei nicht aufgeschlossenem Untergrund ist für eine Genehmigungs- oder Ausführungsplanung je ha Untersuchungsfläche mindestens eine Kernbohrung abzuteufen, wobei gegebenenfalls die Flanken der Deponiefläche und das hydrogeologische Umfeld zusätzlich zu erfassen sind.

Das Untersuchungsprogramm ist verantwortlich von einem qualifizierten geotechnischen Sachverständigen zu erstellen, zu überwachen und auszuwerten.

#### **4.2 Lockergestein**

In Lockergesteinen kommen im Allgemeinen die folgenden Aufschluss- und Untersuchungsverfahren zur Anwendung:

- Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von Proben
- Sondierbohrungen
- Schürfe
- Drucksondierungen und Rammsondierungen (DIN 4094)
- Geophysik (E 1-3)
- Feldversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit (E 1-4).

#### **4.3 Festgestein**

In Festgesteinen kommen im Allgemeinen die folgenden Aufschluss- und Untersuchungsverfahren zur Anwendung:

- Kernbohrungen, ggf. mit Richtungsorientierung
- Schürfe
- Schächte und Stollen in Sonderfällen
- Bohrlochsondierung mit optischen und akustischen Verfahren
- Geophysik (E 1-3)
- Bohrlochversuche zur Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit (E 1-4).

#### **4.4 Grundwasserverhältnisse**

Mit Hilfe der Aufschlussbohrungen, die in der Regel zu Grundwassermessstellen auszubauen sind, werden die im Standortbereich vorkommenden Grundwasserverhältnisse erkundet (DIN EN ISO 22475-1 sowie einschlägige Regelwerke). Ziel der Untersuchung der Grundwasserverhältnisse ist die Schaffung einer Datengrundlage zur Erstellung eines hydrogeologischen Standortmodells und ggf. eines Grundwasserströmungs- und Transportmodells (E 1-10, E 11-1).

Die Anordnung der Grundwassermessstellen und die Tiefenlage der Filterstrecken sind so zu wählen, dass unterschiedliche Gebirgsabschnitte eindeutig erfasst bzw. ggf. vorhandene Aquifere entsprechend E 1-2 abschnittsweise beprobt werden können.

Die Messungen der Grundwasserspiegellagen sind so durchzuführen, dass witterungsbedingte oder jahreszeitliche Schwankungen zu erkennen und zu bewerten sind.

Die Grundwassermessstellen werden so hergestellt, dass mit Unterwasserpumpen eine Probennahme möglich ist. Der Durchmesser der Messstellen ist für diesen Zweck ausreichend groß zu wählen (mind. DN 125). Auf eine ausreichende Abdichtung des Ringraumes an der Geländeoberfläche und zwischen den Grundwasserleitern zur Vermeidung von "hydraulischen Kurzschlüssen" ist zu achten. Zur Kontrolle des Messstellenanschlusses und sowie zur Ermittlung der Durchlässigkeit und ggf. des Aquiferaufbaus sowie Aquifergrenzen sind Feldversuche erforderlich (E 1-4).

## **5 Laborversuche**

### **5.1 Bodenmechanische und gesteinsphysikalische Untersuchungen**

Laborversuche an Proben aus Bohrungen und Schürfen der erforderlichen Güteklasse nach DIN EN ISO 22475-1 dienen der Klassifizierung des Gesteinsmaterials entsprechend DIN EN ISO 14688 bzw. DIN EN ISO 14689 sowie DIN 18196, der Bestimmung des Spannungs-Verformungsverhaltens (DIN 18135, DIN 18136, DIN 18137) sowie des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes (DIN 18130-1).

Laborversuche sind in ausreichendem Umfang an allen maßgebenden Bodenschichten durchzuführen, um die Schwankungsbreite der Eigenschaften zu erfassen. Die Versuchsdurchführung ist zur Sicherung der Bestandsaufnahme und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu dokumentieren.

Für Laboruntersuchungen an Lockermaterialien gelten grundsätzlich auch die Empfehlungen E 3-1 und E 3-3, ggf. auch E 1-10 (Parameter für Stofftransportmodelle).

Bei Fels sind ggf. folgende zusätzliche Untersuchungen durchzuführen:

- Quellfähigkeit und Wasseraufnahmevermögen der Kluftbeläge (DGEG 1986, DIN 18132)
- Durchlässigkeit der Gesteinsmatrix (DIN 18130)
- Verwitterungsstufe (DIN EN ISO 14689-1)
- Veränderlichkeit unter atmosphärischen Verhältnissen oder unter Wasserbedeckung (DIN EN ISO 14689-1)

### **5.2 Chemische Untersuchungen**

Bei den chemischen Untersuchungen werden der Bestand an Inhaltsstoffen sowie das Schadstoffrückhaltevermögen der maßgebenden Gebirgsabschnitte bzw. Grundwasserstockwerke und Bodenschichten ermittelt. Der Umfang der Unter-

suchungen wird unter Berücksichtigung der einschlägigen Regelwerke in Abstimmung mit einem erfahrenen chemischen Untersuchungslabor festgelegt.

## **6 Darstellung der Untersuchungsergebnisse**

Die Untersuchungsergebnisse einer Standorterkundung werden nach den jeweiligen Normen und Regelwerken darzustellen. Hinsichtlich der Darstellung der Ergebnisse aus Felduntersuchungen wird insbesondere auf DIN 4023 verwiesen. Außerdem ist bei Felsaufschlüssen der Verwitterungszustand nach FGSV, 1980 anzugeben.

Es empfiehlt sich, die Untersuchungsergebnisse besonders bei umfangreichem Datenmaterial mit Hilfe eines Geoinformationssystems auszuwerten und darzustellen. Mindestanforderungen dafür sind:

- Ansatzpunkte und Ansatzhöhen (auf NN bezogen) der Untergrundaufschlüsse
- Höhengleichen für Bodenschichten, Grundwasserstände bzw. –druckhöhen
- Einzugsgebiete von Wassergewinnungsanlagen und Wasserschutzzonen
- Vorflutverhältnisse
- Verteilung der Gebirgsdurchlässigkeit
- Geochemische und hydrochemische Verhältnisse
- Tektonische Strukturen
- Verteilung der Gebirgsdurchlässigkeit und ggf. weiterer relevanter hydraulischer Parameter (z. B. Speichereigenschaften)
- Schnitte durch den Untergrund mit Kennzeichnung von genutzten Bohrprofilen (geologische Schnitte und Blockmodelle)
- Darstellung zum Wasserhaushalt (Niederschlagsverteilung, Grundwasserneubildung, Schwankungen des Grundwasserspiegels, der Vorflut sowie Hochwasser und Tideneinfluss).

## **7 Zusammenfassende Beurteilung**

Die Ergebnisse der Standorterkundung sind unter Berücksichtigung des jeweiligen Entwurfsstadiums und unter Einbeziehung der speziellen Anforderungen des Gesamtsicherheitskonzeptes zusammenfassend zu analysieren und zu bewerten und in einem geotechnischen Bericht niederzulegen.

Dieser Bericht muss mindestens folgende Gesichtspunkte behandeln:

- Beschreibung und Darstellung des Untergrundaufbaus (Mächtigkeit, Tiefe, Horizontbeständigkeit, Gebirgsdurchlässigkeit, Schadstoffrückhaltevermögen)
- Grundwasserverhältnisse am Standort und dessen Umfeld, mit Interpretation in einem konzeptionellen hydrogeologischen Modell, ggf.

### Grundwassermodell

- Standsicherheit und Verformungsverhalten des Untergrundes
- Tektonische Verhältnisse, mögliche Bergsenkungen, Erdfallgefährdung und Erdbebenrisiko
- zusammenfassende Bewertung des Untergrundes als Sicherungselement („Geologische Barriere“) des Standortes
- Hinweise auf notwendige geotechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Barrierewirkung des Untergrundes.

## Regelwerke

DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts, 27.4.2009, BGBl. I, S. 900

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU (DGEG), 1986: Empfehlung Nr. 11 des Arbeitskreises 19 Versuchstechnik Fels - Quellversuche an Gesteinsproben. Bautechnik, Heft 3

DIN 4020:2003-09: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke

DIN EN ISO 22475-1:2007-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen - Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung

DIN 4023:2006-02: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen

DIN 4094-1:2002-06: Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen

DIN 4094-2:2003-05: Baugrund - Felduntersuchungen - Teil 2: Bohrlochrammsondierung

DIN 18130-1:1998-05: Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche

DIN 18130-2:2003-10: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes - Teil 2: Feldversuche

DIN 18132:1995-12: Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte - Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens

DIN 18135:1999-06: Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch. Norm-Entwurf

DIN 18136:2003-11: Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Einaxialer Druckversuch

DIN 18137-1:1990-08: Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Begriffe und grundsätzliche Versuchsbedingungen

DIN 18137-2:1990-12: Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung der Scherfestigkeit; Triaxialversuch



DIN 18137-3:2002-09: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 3: Direkter Scherversuch

DIN 18196:2006-06: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

DIN EN ISO 14688-1:2003-01: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung

DIN EN ISO 14688-2:2004-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen

DIN EN ISO 14689-1:2004-04: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßEN- UND VERKEHRSWESEN (FGSV), 1980: Merkblatt über Felsgruppenbeschreibung für bautechnische Zwecke im Straßenbau Köln

**Ansprechpartner:** Dr. Uwe Hekel  
HPC HARRESS PICKEL CONSULT AG  
72108 Rottenburg am Neckar, uhekel@hpc-ag.de

**Bearbeiter:** Dipl.-Geol. J. Fritz, Bremen  
Dr. U. Hekel, Rottenburg  
Dipl.-Geol. T. Kolb, Bottrop  
Dipl.-Geol. J. Kowalewski, Essen  
Prof. Dr.-Ing. K.-P. Salomo, Uelzen