

## E 2-28 Planungsgrundsätze für Stollen- und Schrägschachtbauwerke in Deponien

April 2010

### 1 Allgemeines

Das Basisabdichtungssystem für Abfalldeponien wird nach den in E 2-14 formulierten Planungsgrundsätzen ausgeführt. Demnach ist Deponiesickerwasser im freien Gefälle über Entwässerungsleitungen in Entwässerungsschächte außerhalb des Ablagebereiches zu leiten. Um die Anforderungen für Wartungsarbeiten, Setzungs- und Verformungsmessungen an den Entwässerungsleitungen erfüllen zu können und um die Kontrollier- und Reparierbarkeit an den Durchdringungspunkten durch die Dichtung zu ermöglichen, werden bei Deponien - insbesondere bei Dränungslängen ab 300 bis 400 m – zusätzliche bauliche Einrichtungen erforderlich. Das Sickerwasser wird dann in Sammlern innerhalb von Stollen- und Schrägschachtbauwerken bzw. in kombinierten Bauwerken abgeleitet. Je nach Deponietyp – ob Halden- bzw. Grubendeponie – und Deponiergeometrie sind verschiedene Bauwerksanordnungen bzw. -kombinationen möglich.

Die Bilder 2-28.1a und b zeigen Beispiele unterschiedlicher Bauwerksanordnungen zur Ableitung von Sickerwasser bzw. von nicht kontaminiertem Niederschlagswasser, das aus noch nicht in Betrieb genommenen Deponieabschnitten oder zwischenabgedeckten Betriebsabschnitten abzuführen ist.

Weitere Beispiele sind in (Kroth, 1994; Heuseleit, 1993; Pierau, Wittke, 1996) beschrieben.

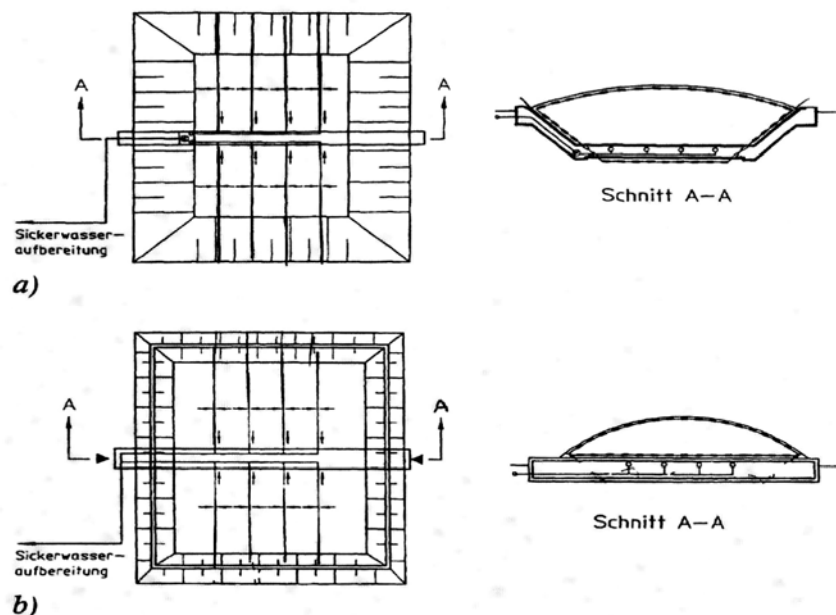


Bild 2-28.1a: Schrägschacht mit Stollenbauwerk (Grunddeponie)

Bild 2-28.1b: Horizontaldurchdringungsbauwerk mit Stollenbauwerk (Haldendeponie)

## **2 Hinweise für den Bauentwurf**

### **2.1 Betriebliche Anforderungen**

Beim Betrieb von Schrägschächten und Deponiestollen sind aufgrund möglicher Gefahrenpotentiale bei ausgasenden Deponien hohe Sicherheitsanforderungen einzuhalten. Die Bauwerke sind deshalb so zu gestalten und sicherheitstechnisch auszurüsten, dass das Personal bei Begehungen bzw. Befahrungen nicht gefährdet ist.

Für die sicherheitsrelevanten konstruktiven Maßnahmen sind die Richtlinien der gesetzlichen Unfallversicherer (BGR 127) zu beachten. Es wird empfohlen, dortige Angaben z.B. zu Abmessungen für Durchgangsbreiten, als Mindestwerte zu verstehen. Die einschlägigen Vorschriften und Regeln zum Arbeitsschutz und zur Sicherheit sind bei der technischen und betrieblichen Konzeption von Schrägschächten und Stollenbauwerken zu berücksichtigen, wie z.B. Sicherung gegen unbefugten Zutritt, Brand- und Explosionsschutz, Flucht- und Rettungswege, Transport- und Hebehilfen sowie Notstromversorgung.

Hierzu werden folgende Hinweise gegeben:

- Der Zugang zu Stollen und Schrägschächten sollte über Portalbauwerke erfolgen, um die Wartung und Zugänglichkeit bei Rettungseinsätzen zu gewährleisten.
- Die Betriebsüberwachung der technischen Ausrüstung sollte von außerhalb der Schacht- bzw. Stollenbauwerke durchgeführt werden können.
- Bei Stollenbauwerken ist in der Regel ein zweiter Ausgang als Flucht- und Rettungsweg einzuplanen. Auf diesen Flucht- und Rettungsweg kann ggf. im Einzelfall verzichtet werden, wenn die örtliche Aufsichtsbehörde zustimmt, dass stattdessen der Ablauf einer Begehung bzw. Befahrung nach arbeitsschutztechnischen Gesichtspunkten zu organisieren und überwachen ist. Außerhalb des Ablagerungsbereiches befindliche Schrägschächte benötigen i. Allg. nur einen Einstieg.
- Eine Unterteilung in Brandabschnitte kann i. Allg. dann entfallen, wenn ausschließlich schwer entflammbare Baustoffe verwendet werden und unterstützende betriebsorganisatorische Vorsorgemaßnahmen getroffen werden.

Das Vorgehen und Verhalten des Personals bei Begehungen ist in einem Betriebs- handbuch zu regeln. Stollen- und Schrägstollenbauwerke sind in das Überwachungsprogramm des Nachsorgezeitraums einer Deponie aufzunehmen.

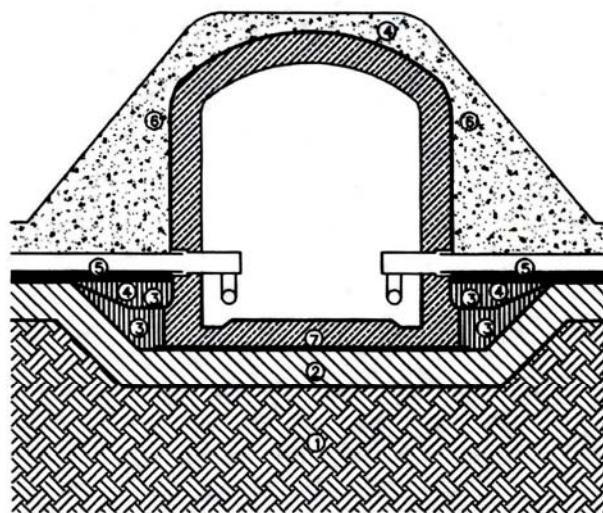
### **2.2 Besondere Konstruktionsgrundsätze**

#### **2.2.1 Anordnung der Bauwerke**

Für die Entscheidung, ob Stollenbauwerke oberhalb oder unterhalb des Basisabdichtungssystems angeordnet werden sollen, sind folgende Kriterien heranzuziehen und hinsichtlich ihrer objektbezogenen Bedeutung zu bewerten:

- Minimierung der Anzahl von Durchdringungspunkten durch das Abdichtungssystem
- Vermeidung eines dauerhaften Kontaktes der Bauwerke mit Sickerwasser
- Minimierung von Erschwerissen bzw. Einschränkungen während der Herstellung des Abdichtungssystems, um die Funktionstüchtigkeit und Qualität des Abdichtungssystems nicht zu schwächen
- Gründung der Bauwerke auf tragfähigem Untergrund
- Verringerung von thermischen Einflüssen auf die Bauwerke
- Gewährleistung ausreichender Gleitsicherheit bei Schrägschächten im Böschungsbereich.

In den Bildern 2-28.2 und 2-28.3 sind prinzipiell mögliche Anordnungen von Stollenbauwerken an der Deponiebasis dargestellt.



- ① Deponieauflager
- ② mineralische Dichtung
- ③ setzungsarme Mischbodendichtung  
(z.B. Kies-Koalinit-Gemisch)
- ④ KDB mit Schutzschicht
- ⑤ Entwässerungsleitung mit Rohrauflager
- ⑥ Entwässerungsschicht
- ⑦ Sauberkeitsschicht

Bild 2-28.2: Stollenbauwerk oberhalb des Basisabdichtungssystems Querschnitts beispiel- (Prinzipdarstellung)

## 2.2.2 Konstruktive Maßnahmen

Werden Bauwerke wie in Bild 2-28.3 unterhalb der eigentlichen Basisabdichtung angeordnet, so wird empfohlen, die Gründungssohle aus gut verdichtungsfähigen Mineralgemischen mit qualifizierten Dichtungseigenschaften herzustellen. Zur Minimierung der Verformungsunterschiede zwischen dem Stollenbauwerk und dem angrenzenden Boden sowie der damit verbundenen Lastkonzentration auf die Bauwerke

(s. Abschn. 3.2) wird der Stützkeil aus gering kompressiblem, gebrochenen Gesteinsmaterial mit möglichst geringer Durchlässigkeit (s.a. E 2-14) hergestellt.

Eine weitere Möglichkeit, Setzungsdifferenzen zwischen Bauwerk und Deponiekörper abzumindern besteht in der Verbreiterung der Aufstandsfläche durch beweglich gelagerte Schleppplatten.

Bei den Rohr-Wand-Durchführungen der Entwässerungsleitungen sind die zu erwartenden Setzungsunterschiede zwischen den Bauwerken und den Entwässerungsleitungen konstruktiv zu berücksichtigen. Änderungen des Längsgefälles von Entwässerungsleitungen sind möglichst zu vermeiden.

Sind diese dennoch unumgänglich, sind Gradientenwechsel an gut zugänglichen Stellen in den Bauwerken vorzusehen.

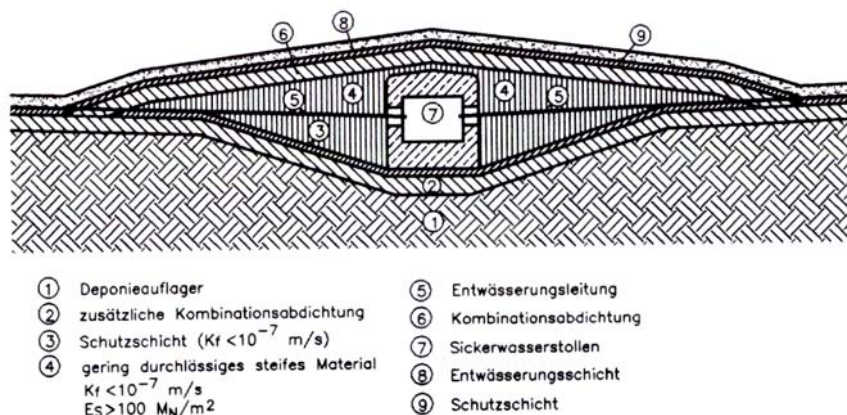


Bild 2-28.3: Stollenbauwerk unterhalb des Basisabdichtungssystems-Querschnittsbeispiel

### 2.2.3 Durchdringungen

Die Entwässerung von Deponien mit Freispiegelgefälleleitung führt dazu, dass Rohre bzw. Stollenbauwerke die Basisabdichtung am Fuß der ansteigenden Randböschung durchdringen. Folgende Konstruktionen können an den Durchdringungspunkten auftreten:

- bei Haldendeponien: außen liegende Schachtbauwerke mit innen liegenden Stollenbauwerken
- bei Grubendeponien: außen liegende Schrägschachtbauwerke mit innen liegenden Stollenbauwerken
- bei Grubendeponien: außen liegende Schrägschachtbauwerke mit innen liegenden Entwässerungsleitungen.

Für die Anordnung und konstruktive Ausbildung der Durchdringungspunkte werden folgende Hinweise gegeben:

- vertikale Durchdringungen des Basisabdichtungssystems sind nicht zulässig.
- Die Anzahl horizontaler Durchdringungspunkte des Basisabdichtungssystems sollte möglichst gering sein.
- Kraftschlüssige Verbindungen zwischen der Kunststoffdichtungsbahn des Basisabdichtungssystems und dem Bauwerk sind zu vermeiden.
- Wanddurchdringungen sind elastisch und nachjustierbar, jedoch wasser- und gasdicht herzustellen.

Um ggf. notwendige Nachbesserungen an den Durchstoßpunkten zu ermöglichen, sollte die Bewehrung der Stahlbetonkonstruktion im unmittelbaren Bereich der Rohreinführung so geführt werden, dass das spätere Herausstemmen einer schadhafte Entwässerungsleitung möglich ist, ohne die Tragwirkung der Baukonstruktion zu schwächen.

Für die Durchdringungen werden in der Werkstatt vorgefertigte Kunststoffformteile verwendet. Kunststoffrohre und -formteile sind auf der Baustelle vor Sonnenbestrahlung zu schützen, damit die erforderliche Formstabilität und Passgenauigkeit erhalten bleibt. Ebenso sind beim Einbau und während des Erhärtens des Betons Maßnahmen zu treffen, damit die Form der Rohre erhalten bleibt. Für die Dichtigkeit von Durchdringungskonstruktionen ist es günstig, wenn die Neigung des Basisabdichtungssystems (Böschung) am Durchdringungspunkt mit möglichst steilem Gefälle gegen die Hauptentwässerungsrichtung ausgebildet wird.

#### 2.2.4 Fugenausbildungen

Der Aufbau des Abfallkörpers führt zu Setzungen. Um die Dichtigkeit der Deponie gegenüber dem Untergrund zu gewährleisten, müssen sich Basisabdichtungssystem und Stollen bzw. Schrägschachtbauwerke der Setzungsmulde schadlos anpassen. Der Anpassungsvorgang bewirkt bei den Bauwerken tendenziell eine Verformung in Längsrichtung der Bauwerksachsen sowie eine leichte Schrägstellung der einzelnen Bauwerksabschnitte. Dies führt dazu, dass sich die Fugen zwischen einzelnen Bauwerksabschnitten im Deckenbereich verengen und im Sohlbereich aufweiten.

Bei der Wahl der Bauwerksabschnitte und Ausbildung der Fugen sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- ausreichend kleine Abschnitte zur zwängungsfreien Anpassung der Bauwerke an die Setzungsmulden
- Temperatureinwirkungen im nichtüberschütteten Zustand sowie aus dem Abfall
- betontechnologische Anforderungen
- praxiserichte Ausführbarkeit der Fugenabdichtung
- langfristig ortungsfähige Leckkontrollen und Reparierbarkeit.

Die innerhalb des Stollens verlaufenden Rohrleitungen sind im Bereich von Fugen gelenkig zu stoßen und elastisch zu lagern. Wegen möglicher Änderungen der Rohr

gefälle sind dort Reinigungsöffnungen vorzusehen. Es wird empfohlen, die Herstellung von Fugen, Durchdringungen und Anschlüssen photographisch zu dokumentieren.

### 3 Hinweise zur Standsicherheit

#### 3.1 Allgemeines

Zum Nachweis der sicheren Lastabtragung sind die Standsicherheit und Verformungssicherheit der Bauwerke zu untersuchen. Hierbei sind die maßgeblichen Einwirkungen zu ermitteln, deren ungünstigste Kombination zu bilden und den wirksamen Material- und Systemwiderständen gegenüberzustellen. Als wesentliche Einwirkungen auf die Deponiebauwerke gelten:

- vertikale Belastungen infolge Eigengewicht sowie Auflasten aus Überschüttung und Verkehr
- horizontale Belastungen infolge Erddruck aus Überschüttung und Verkehr
- Zwängungen infolge von ungleichförmigen Setzungen und Setzungsdifferenzen
- Zwängungen infolge von Temperaturdifferenzen sowie Auswirkungen der Schwind- bzw. Kriechvorgänge der Baustoffe.

Der Nachweis der Tragfähigkeit (Standsicherheit) und der Gebrauchstauglichkeit (Verformungssicherheit) ist nach den anerkannten Regeln der Technik, z.B. für Stahlbetonbauwerke nach DIN 1045, zu erbringen. Zeit- und beanspruchungsabhängige Veränderungen von Materialeigenschaften sind dabei zu berücksichtigen. Die Stollen- und Schrägschachtbauwerke sind in den Nachweis der hydraulischen Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems nach E 2-14 einzubeziehen.

#### 3.2 Ermittlung der vertikalen Belastung

Aufgrund der im Vergleich zum Deponiekörper erheblich höheren Steifigkeit der Bauwerke verformen sich die überschütteten Stollen unter Last deutlich weniger als seitliche Verfüllbereiche.

Auf diese Weise werden die Lasten aus dem Eigengewicht der Überschüttung auf die Baukörper konzentriert. Daraus wird eine um den Lastkonzentrationsfaktor  $\lambda_D$  erhöhte Vertikalspannung  $\sigma_Z$  berechnet:

$$\sigma_Z = \gamma \times h \times \lambda_D \quad [kN/m^2]$$

mit  $\gamma$  = Wichte der Überschüttung [kN/m<sup>3</sup>]  
 $h$  = Überschüttungshöhe [m]

Der Lastkonzentrationsfaktor  $\lambda_D$  wird aus Setzungs-betrachtungen für die jeweiligen Bauwerke rechnerisch ermittelt. Zur Vordimensionierung kann der Lastkonzentrationsfaktor näherungsweise analog zum Berechnungsverfahren der Statik von Entwässerungskanälen gemäß (ATV-DVWK-Arbeitsblatt A127) oder (Vogt, 1993) sowie mit FE-Berechnungen (Pierau, Wittke, 1996) ermittelt werden. Liegt kein kreisförmiger Ausbauquerschnitt vor, kann die Berechnung näherungsweise mit einem entsprechenden Ersatzradius durchgeführt werden. Erfahrungsgemäß ist der Lastkonzentrationsfaktor im Allgemeinen zwischen  $\lambda_D = 1,3$  und  $2,0$  anzusetzen.

Weitere lokale Lastkonzentrationen sind insbesondere an den Durchdringungspunkten zu berücksichtigen.

### **3.3 Ermittlung der horizontalen Belastung**

Zur Ermittlung der maximalen Schnittgrößen sind die Grenzgefälle aktiver Erddruck und Erdruhedruck zu betrachten. Im Einzelfall ist zu untersuchen, ob weitere Horizontallasten wie z.B. Erddrücke aus Verdichtungsarbeiten zu berücksichtigen sind. Ebenso sollten gegebenenfalls einseitig auftretende Horizontallasten aufgrund ungleicher Anschüttungen bzw. reparaturbedingter Aufgrabungen beachtet werden.

### **3.4 Ermittlung von Zwängungen infolge von Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen**

Die Größe und Form der Setzungsmulde in Bauwerkslängsrichtung ist für einzelne Verfüllungsabschnitte und die verfüllte Gesamtdeponie durch Setzungsberechnungen nach DIN 4019 zu ermitteln. Zusätzlich sind die Bauwerkssetzungen infolge Lastkonzentration zu berechnen, da diese zu erhöhten Sohlpressungen unter dem Bauwerk verglichen mit der Auflastspannung neben dem Bauwerk führen. Aus diesen Berechnungen ergeben sich die Setzungsdifferenzen zwischen Anfang und Ende eines Bauwerksabschnittes. Daraus folgen die möglichen Abschnittslängen, die zu erwartende Fugenbeanspruchung sowie die Setzungsdifferenzen zwischen Bauwerk und seitlicher Verfüllung.

### **3.5 Ermittlung von Zwängungen infolge thermischer Einwirkungen**

Zur Ermittlung von Zwängungen aus Temperaturdifferenzen in Stollen- oder Schrägschachtbauwerken können keine allgemein gültigen Rechenannahmen angegeben werden. Es ist zu erwarten, dass Zwängungen infolge Temperatureinwirkungen bei nicht regelmäßig bewetterten Stollen bzw. Schächten im First- und Ulmenbereich vernachlässigbar sind, weil hier eine Temperaturangleichung zum umgebenden Abfallkörper stattfindet. Dagegen wird im Sohlbereich Wärme in den Untergrund geleitet, so dass dort eine vertiefende Betrachtung, z.B. mit rechnerischen Modellen, erforderlich ist.

### **3.6 Sonstige Nachweise**

Der Nachweis der Rissbreite ist unter Berücksichtigung der zulässigen Rissbreiten in Abhängigkeit ggf. erforderlicher Betonschutzmassnahmen (s. Abschn. 5) zu führen. Bei Schrägschächten und Stollenbauwerken, die auf stärker geneigtem Untergrund gegründet werden, ist die Gleitsicherheit gemäß DIN 1054 für die maßgebliche Gleitfläche unter den Bauwerken nachzuweisen. Werden dabei Widerstände wie Kohäsion, Erdwiderstand vor dem Schachtfuß, Reibung an den Stollen- bzw. Schachtflanken im rechnerischen Nachweis angesetzt, so ist bei der Bauausführung zu überprüfen und sicherzustellen, dass die angesetzten Widerstände auch tatsächlich eintreten bzw. eintreten können. Weiterhin ist der Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch nach DIN 4017 zu erbringen.

Bei Schrägschachtbauwerken ist zusätzlich die Sicherheit gegen Geländebruch nach DIN 4084 - insbesondere für den Bauzustand- nachzuweisen.

## **4 Hinweise zur technischen Ausstattung**

### **4.1 Einrichtung zur Ableitung von Sicker- und Oberflächenwasser**

Grundsätzlich wird empfohlen, die Ableitungssysteme der Deponiebauwerke so vorzubereiten, dass nicht kontaminiertes Niederschlagswasser (Oberflächenwasser) aus nicht in Betrieb genommenen bzw. zwischenabgedeckten Betriebsabschnitten getrennt von kontaminiertem Deponiesickerwasser in einem parallel geschalteten Kanalsystem gesammelt und abgeführt werden kann. Aus betrieblichen Gründen sollten folgende Einrichtungen zur Ableitung von Sicker- bzw. Oberflächenwasser bei der Planung berücksichtigt werden:

- Im Zulauf der Entwässerungsleitungen: Absperrorgane, ausreichend bemessene Öffnungen für Reinigungszwecke und Kamerabefahrungen, Anschlüsse zur Gasabsaugung während der Wartungsarbeiten.
- Bei Entwässerungsleitungen im Freispiegelgefälle: vertikale Justiermöglichkeit zum Ausgleich von Setzungsdifferenzen zwischen Rohr und Bauwerk.
- Absetzbecken als Schutz gegen grobe Verunreinigungen der Ablaufleitung.
- Bei Sickerwasserableitungen mit einer Druckförderung: Sickerwasser-Pumpanlage als Doppelpumpanlage mit ausreichend groß bemessenem Pumpensumpf (Rückstaumöglichkeit ausschließen).

### **4.2 Betriebseinrichtungen**

Des Weiteren sollten Deponiestollen- und Schrägschachtbauwerke folgende technische Ausstattung erhalten:

- Bewetterungsanlagen, um den Zugang bei Inspektions- und Wartungsarbeiten ohne personenbezogenen Atemschutz zu ermöglichen,
- Messeinrichtungen zur Feststellung bzw. Überwachung der Schadgas-



konzentrationen vor und während einer Befahrung

- Hochdruckspüleinrichtungen zur Reinigung der Entwässerungsleitungen
- Elektro-, Mess-, Steuer-, Regel- und Leittechnik für den Betrieb und die Überwachung von z.B. Durchfluss- oder Füllstandsanzeigen, Pumpenanlagen, Bewetterung.

## **5 Materialanforderungen**

Bei der Werkstoffauswahl sind die spezifischen Anforderungen hinsichtlich mechanischer Widerstandsfähigkeit und Beständigkeit gegenüber chemischen, physikalischen und ggf. biologischen Einwirkungen auf die Bauwerke zu beachten. Besondere Werkstoffbeanspruchungen können durch Sickerwasser, Deponiegas, Umgebungswärme, statische und dynamische Einwirkungen, Verschleiß bei Reinigungsarbeiten und dergleichen hervorgerufen werden. Die zum Einbau kommenden Baumaterialien müssen häufig zusätzlich sicherheitstechnischen Anforderungen, z.B. der Vermeidung von elektrostatischer Aufladung zum Explosionsschutz, genügen. Qualitative hohe Anforderungen sind insbesondere an alle Materialien und Bauteile zu stellen, deren Instandsetzung oder Austausch im Versagensfall aufwendige Bauleistungen zu ihrer Sanierung zur Folge hätten.

Stollen- und Schrägschachtbauwerke werden meist aus Stahlbeton gefertigt.

Die Betoneigenschaften sowie Schutzmaßnahmen von Betonteilen vor aggressiven Medien sollen GDA E 2-22 Abschnitt 3 entsprechen.

### **Regelwerke**

ARBEITSBLATT ATV-DVWK-A 127, 3. Auflage 08/2000: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen

BGR 127, BG Bau Feb. 2001: BG-Regel - Deponien, Berufsgenossenschaftlich Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit auf und in Deponien, Medien und Praxishilfen der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

DIN 1045, 8/2008: Stahl und Stahlbetonbau

DIN 4019, 1996: Baugrund - Setzungsberechnungen

DIN 1054, 1/2008: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

DIN 4017, 3/2006: Baugrund - Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen

DIN 4084, 1/2009: Baugrund – Geländebruchberechnungen

## Literatur

ANTZ, H., HOCH, A., 1996: Berechnung der Erdauflasten auf überschüttete schmale Baukörper nach dem Verfahren von Marston. Bautechnik 73 (1996) H. 9, S. 625-629.

HENSELEIT, H., 1993: Kontrollstollen in der Deponietechnik. Abfallwirtschaftsjournal 4, Nr. 3.

KRATH, U., 1994: Tunnelbauwerke in der Zentralen Mülldeponie Eiterköpfe. Müll und Abfall 6

PIERAU, B., WITTKE, W., 1996: Entwurf eines Kontrollgangs für die Erweiterung der Schuttdeponie Friesenheimer Insel in Mannheim. Vorträge Baugrundtagung, DGGT, S. 445-456.

VOGT, N., 1993: Entwässerungs- und Kontrollstollen in Deponie-Basisabdichtungen. 10. Fachtagung des Süddeutschen Kunststoffzentrums.

Ansprechpartner: Dr.-Ing. J. Weiß  
CDM Consult GmbH  
Neue Bergstraße 13, 64665 Alsbach  
E-Mail: johannes.weiss@cdm-ag.de

Maßgebliche Bearbeiter: G. Burkhardt, Karlsruhe  
J. Weiß, Alsbach