

Stand der Technik bei der Dimensionierung von Rohren und Schächten

1 Einleitung

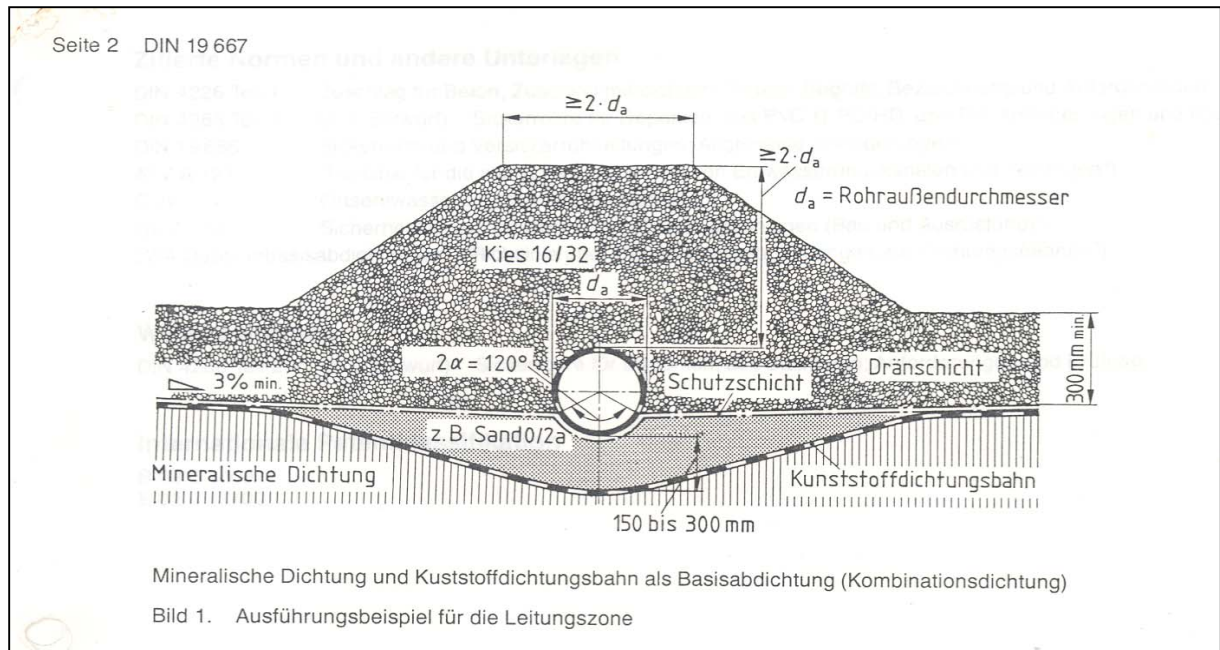
Im Folgenden werden die im Deponiebau eingesetzten Methoden zur statischen Berechnung von Bauwerken beschrieben. Als Deponiebauwerke werden Rohre und Schächte behandelt. Da Sanierungen bestehender Bauwerke einen wichtigen Teilbereich im aktuellen Deponiebau bilden, erfolgen Hinweise zur statischen Berechnung von Rohren bei Sanierungen.

Es werden Ergebnisse von 2 Forschungsvorhaben, die im Auftrag Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) von der LGA Bayern durchgeführt wurden, berichtet. In diesen Forschungsvorhaben wurden schachtnahe Schäden an Rohren, die in vielen Deponien in unterschiedlichem Umfang und mit unterschiedlichen Auswirkungen aufgetreten sind, und Regeln für ein Bemessungsverfahren beim Einsatz von Berstlining zur Rohrreparatur im Deponiebereich bearbeitet.

2 Sickerwasserrohre

2.1 Allgemeines

Die übliche statische Berechnung für Rohre in Deponien basiert auf den DWA-Regelwerken Arbeitsblatt DWA-A 127 „Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen“ in der 3. Auflage August 2000 und seit März 1996 auf einer Ergänzung im Merkblatt M 127 „Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien“ Teil 1. Für Sanierungen steht von der DWA seit Januar 2000 noch die Ergänzung M 127, Teil 2 „Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren“ zur Verfügung. Letzteres behandelt allerdings im Wesentlichen die im städtischen Bereich vorherrschenden Linerverfahren.



Gültige Bemessungsregeln für das im Deponiebau am häufigsten angewendete Sanierungsverfahren Berstlining existieren nicht. Von der LGA Bayern wurde jedoch in einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz ein Bemessungskonzept für das Verfahren erstellt. Für die ebenfalls im Deponiebereich eingebauten Liner/Partliner, sofern diese statische Funktionen übernehmen müssen, ist die sinngemäße Anwendung von M 127, Teil 2 möglich.

Spezielle Bauteile wie Abzweige oder Krümmer können nach diesen Regelwerken nicht bemessen werden. Die LGA Bayern setzt für solche Bemessungen Finite Element (FEM) Programme ein.

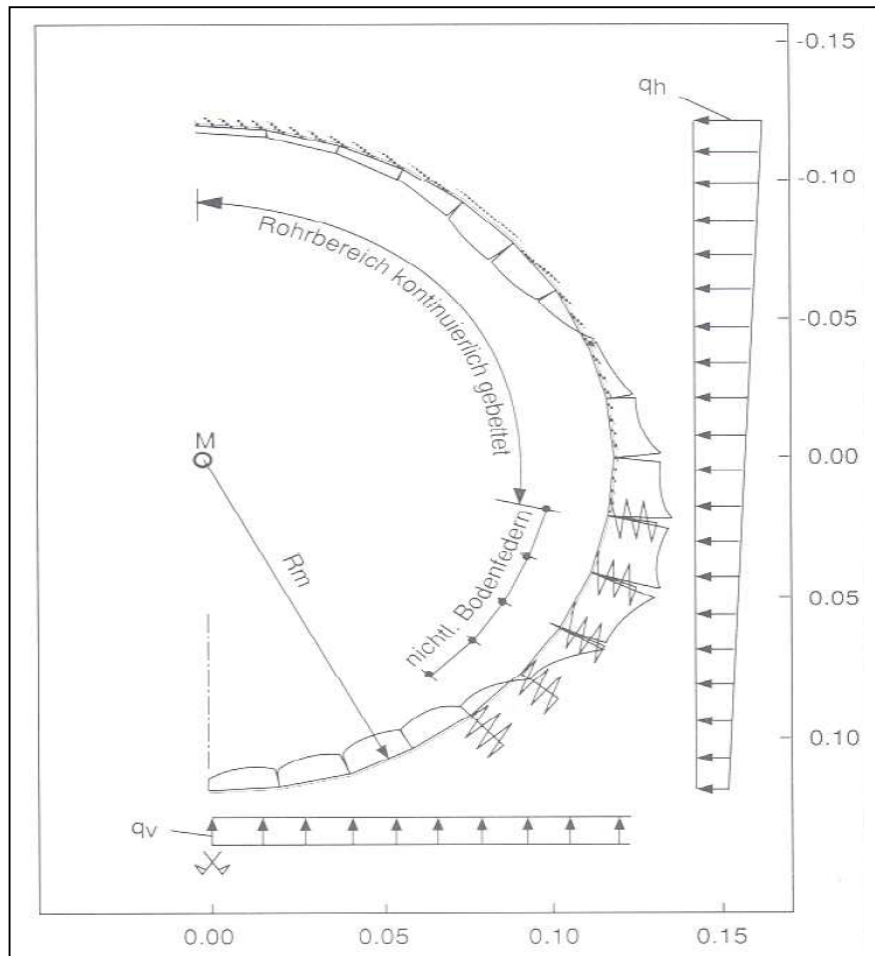


Bild 2 Bettung

2.2 Material und Geometrie

Als Rohrmaterial wird im Deponiebau nahezu ausschließlich PE eingesetzt. Polyethylen ist gegen chemische Angriffe aller üblicherweise in Deponien auftretenden Stoffe resistent. Mechanische Belastungen können insbesondere kurzzeitig sehr gut aufgenommen werden. Einschränkungen der Einsetzbarkeit können durch extreme Temperaturbelastungen hervorgerufen werden.

Die Berücksichtigung deponiespezifischer Zusatzanforderungen ist für PEHD-Materialien in einer Norm [2] geregelt. Seit der Entstehung der Norm 1992 hat sich das Material weiterentwickelt und die ursprünglich nahezu ausschließlich verwendete Bezeichnung PEHD kann nur noch als allgemeiner Name einer Materialgruppe angesehen werden. So unterscheidet der Titel der DIN 8074, die in der Version 1987 ausschließlich die Bezeichnung PE-HD enthält, in der Version 1999 ebenso wie die DIN 8075 vier PE-Typen. Die alte Bezeichnung PE-HD verbleibt - aus unserer Sicht unglücklicherweise, da hier regelmäßig Verwirrungen auftreten - für Rohre druckloser Anwendungen mit geringeren Anforderungen als an die drei neu definierten Materialien PE 63/80/100. Mittlerweile haben sich auch die drei neu aufgenommenen Materialien im Deponiebau deutlich voneinander abgegrenzt und zusätzlich sind innerhalb der Gruppen Differenzierungen aufgetreten. Das Material PE 63 wird im deutschen Deponiebau nicht eingesetzt. PE 80, das in den letzten Jahren das gängige Material für Deponiebauwerke war, wird mittlerweile in vielen Fällen von PE 100 Materialien verdrängt. Während die anzuwendenden Abminderungen für die deponiespezifischen Einwirkungen in Normen und Regelwerken festgelegt sind, sind die für eine statische Berechnung erforderlichen Ausgangswerte materialspezifisch und müssen durch Versuche ermittelt werden. Als Mindestanforderung gelten für alle PE-Materialien die in den DWA-Regelwerken bzw. durch das DIBt festgelegten Materialkennwerte. Da die neueren PE-Typen auch eine geänderte Alterung haben, sind hierfür zusätzliche Materialinformationen erforderlich, wenn die Werte in einer Berechnung angesetzt werden sollen. Die Materialauswahl wird in den Herstellungszeugnissen dokumentiert.

Eingesetzt werden dickwandige Rohre üblicherweise mit Außendurchmessern zwischen 110 mm und 450 mm. Für die Drainagewirkung werden die Rohre über 2/3 des Umfanges perforiert. Hier können Lochungen und Schlitzungen eingesetzt werden. Die Perforation bewirkt eine Verminderung der Rohrsteifigkeit, die in der statischen Berechnung berücksichtigt werden muss. Bei Sanierungen werden meist vollperforierte Rohre eingebaut, da sie sich leicht beim Einziehvorgang verdrehen.

2.3 Einbau

Die Leitungszone besteht üblicherweise aus Kies der Körnung 16/32. Aus statischer Sicht wirkt die Kiesrigole, die über dem Rohr mit einer Dicke in Höhe des zweifachen Außendurchmessers des Sickerrohres eingebaut wird, als schubsteifer Balken. Die Festigkeit dieses Kiesmaterials muss in Abhängigkeit von der Auflast bekannt sein und hat gemeinsam mit der Ausführung des Rohraufagers entscheidenden Einfluss auf die Standsicherheit der Deponierohre.



Bild 3 Auflagerherstellung

2.4 Auflagerzwickel

Die passgenaue Ausführung des Rohraufagers ist eine grundlegende Voraussetzung für das zutreffen der statischen Berechnung. Um zu vermeiden, dass das Sickerwasser unter den Rohren fließt muss das Auflager neben der statischen Funktion Anforderungen an die Dichtigkeit erfüllen. Aus statischer und bautechnischer Sicht sind Tonauflager direkt in der Deponiedichtung ungünstig. Es wurde daher eine spezielle Materialmischung, die so genannte Mischung 9 von der TU München entwickelt. Sie besteht aus Sand, Kaolinit und Zement. Durch fachgerechten Einbau können sowohl Anforderungen der Statik an die Festigkeit als auch Anforderungen an die Dichtigkeit erfüllt werden.

3 Sanierung durch statisches / dynamisches Bersten

Das Berstliningverfahren stellt eine kostengünstige und umweltschonende Methode zur Sanierung von Rohrsystemen nicht nur im Deponiebereich dar. Eine Berstrakete durchfährt das vorhandene defekte Altrohr, zerstört dieses dabei und verdrängt die Restteile in die Leitungszone. Gleichzeitig wird die Rohrleitungszone aufgeweitet und ein an der Rakete befestigtes Neurohr, dessen Durchmesser auch größer als der des Altrohres sein kann, wird eingezogen. Es wird zwischen statischem und dynamischem Berstlining unterschieden. Beim dynamischen Bersten wird die Berstrakete mittels Schlagenergie vorangetrieben. Zusätzlich wird die Rakete mittels eines Zugseiles geführt. Beim statischen Bersten entfällt die Schlagenergie. Sie wird durch eine über ein Gestänge aufgebrachte Zugkraft ersetzt. Mittlerweile existieren auch Kombinationen der beiden Systeme.

Im Allgemeinen stimmen beim Berstlining der Außendurchmesser von Alt- und Neurohr nicht überein, so dass eine eindeutige Einbettungssituation in ein passgenaues Auflager und die exakte seitliche Bettung verfahrensbedingt nicht vorausgesetzt werden kann. Der Einziehvorgang kann ebenfalls Auswirkungen auf die Lage und Einbettung des Neurohres haben und führt zu zusätzlichen Einwirkungen auf die Rohre.



Bild 4 geberstetes Steinzeugrohr

Der Einzug bewirkt neben den vertikalen Einwirkungen aus der Auflast Zugspannungen im Rohr. Zusätzlich können Riefen in der Rohrwand bei dem Verfahren nicht mit Sicherheit vermieden werden. Dem wird bei der Materialauswahl dadurch Rechnung getragen, dass Materialien mit höherem Widerstand gegen Rissfortpflanzung eingesetzt werden.

Beschreibungen zum Verfahren, zur Anwendung und den Anforderungen an eine fachgerechte Ausführung enthält die Beschreibung des durchgeführten Forschungsvorhabens (Unterlage [6]).

Eine übliche rohrstatische Berechnung nach den DWA-Regelwerken DWA-A/M127 setzt definierte Einbauverhältnisse voraus und kann deshalb bei den im Berstliningverfahren verlegten Leitungen nicht angewendet werden.

Um eine dauerhafte Funktion der neuen Leitungen zu gewährleisten, sind zur Erstellung einer zutreffenden statischen Berechnung weitergehende Untersuchungen von Rohrwerkstoff, Baugrund und Einbau erforderlich.

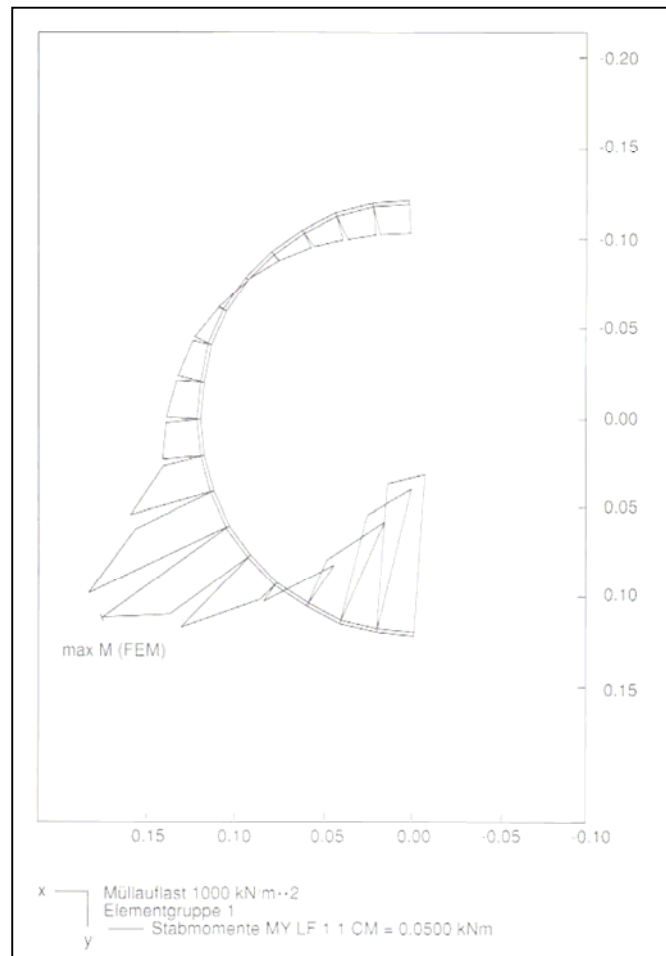


Bild 5 Biegemoment

Von der LGA Bayern wurde im Auftrag des LfU ein Leitfaden zur Dimensionierung der neuen Sickerwasserleitungen erarbeitet, nach dem Standsicherheitsnachweise für die mit dieser Sanierungsmethode eingebauten Sickerwasserrohre mit abgesicherten Parametern und zutreffenden Lastfällen erstellt werden können. Hierfür ist eine Bestandsaufnahme vor der Maßnahme erforderlich, die alle relevanten Parameter deponiespezifisch erfasst. Interessant sind unter anderem neben allen Geometrien (Altrohr, Leitungszone) Materialien, Temperaturen, Neigungen des Altrohres und Verlegung in Radien. Mittels aller Daten kann die Ausschreibung erfolgen, zu der bereits eine Vorstatik für die neuen Rohre gehören sollte.

Die endgültige statische Berechnung kann zutreffend nur mittels FEM erfolgen. Hierfür sind baubegleitend Aufnahmen der tatsächlich entstandenen Einbaugeometrien und aller Besonderheiten - insbesondere auch bezüglich Boden-Abfallmaterials - erforderlich. Für die FEM-Berechnung wird die vorgefundene Situation als Kontinuumsmodell abgebildet.

Berechnungen erfolgen nun für verschiedene Parametervariationen. Je nach Art des Bersens und der vorgefundenen Materialien und Geometrien sind Scherben und aufgelockerte oder verfestigte Bodenzonen im Rohrbereich zu simulieren. Riefen, die sehr oft schon durch den Transport der Rohre über die Deponie auftreten, sind an den statisch ungünstigsten Stellen zu berücksichtigen.

Empfehlenswert für die Genauigkeit der Ergebnisse ist eine vergleichende Materialuntersuchung - meist als Zeitstandsinnendruckversuch ausgeführt -, an einem durchgezogenen und einem unbelasteten Rohrstück durchzuführen. Hierdurch können beim Einziehen aufgetretene Schwächungen frühzeitig erkannt werden.

4 Schäden im Bereich von Schachtkonstruktionen

Von der LGA Bayern wurden in einem Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) schachtnahe Schäden, die auf mehreren Deponien aufgetreten sind, untersucht. Die Untersuchungen erfolgten mittels genauer Bau-(Sanierungs-) begleitender Aufnahmen auf der Deponie Gallenbach bei Augsburg sowie parallel mittels Aufnahme weiterer bekannter Schäden aus der Akten-/Planlage. Die Schäden sind Wassereinstau durch Absenken der Rohre und Beulen bis zu $\frac{2}{3}$ des Rohrdurchmessers im Schachtbereich.

Es wurden Gemeinsamkeiten gesucht und Berechnungen durchgeführt. Als wesentliches Ergebnis kann angesehen werden, dass die Vertikalspannungen unter Kiesmänteln das 2-fache der rechnerischen Auflast und mehr betragen können. Die Rohre in diesem Bereich sind entsprechend zu dimensionieren. Ein weiteres Problem stellen die unterschiedlichen Bodenpressungen unter Fundament, Kiesmantel und Müll dar. Dies äußert sich oft durch Setzungen im schachtnahen Bereich (Wassereinstau). Hier kann durch Wahl der Fundamentgröße in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und durch Hüllrohre beim Bau schon vorgebeugt werden.



Bild 6 Schachtbau

5 Schächte

5.1 Allgemeines

Die Bemessung von Schächten erfolgt nach den GDA-Empfehlungen Geotechnik der Altlasten und Deponien E 2-22 „Vertikale Schächte in Deponien“. Für Stabilitätsnachweise wird üblicherweise „Die Stabilität dünnwandiger Rohre im kohäsionslosen Kontinuum“, eine Untersuchung, die G. Sonntag 1966 veröffentlichte, angewendet.

Aus statischer Sicht können die gängigen Ausführungsarten von Deponieschächten in starre und flexible Schächte unterteilt werden. Bei beiden Arten existieren monolithische Ausführungen und aufgelöste Varianten.

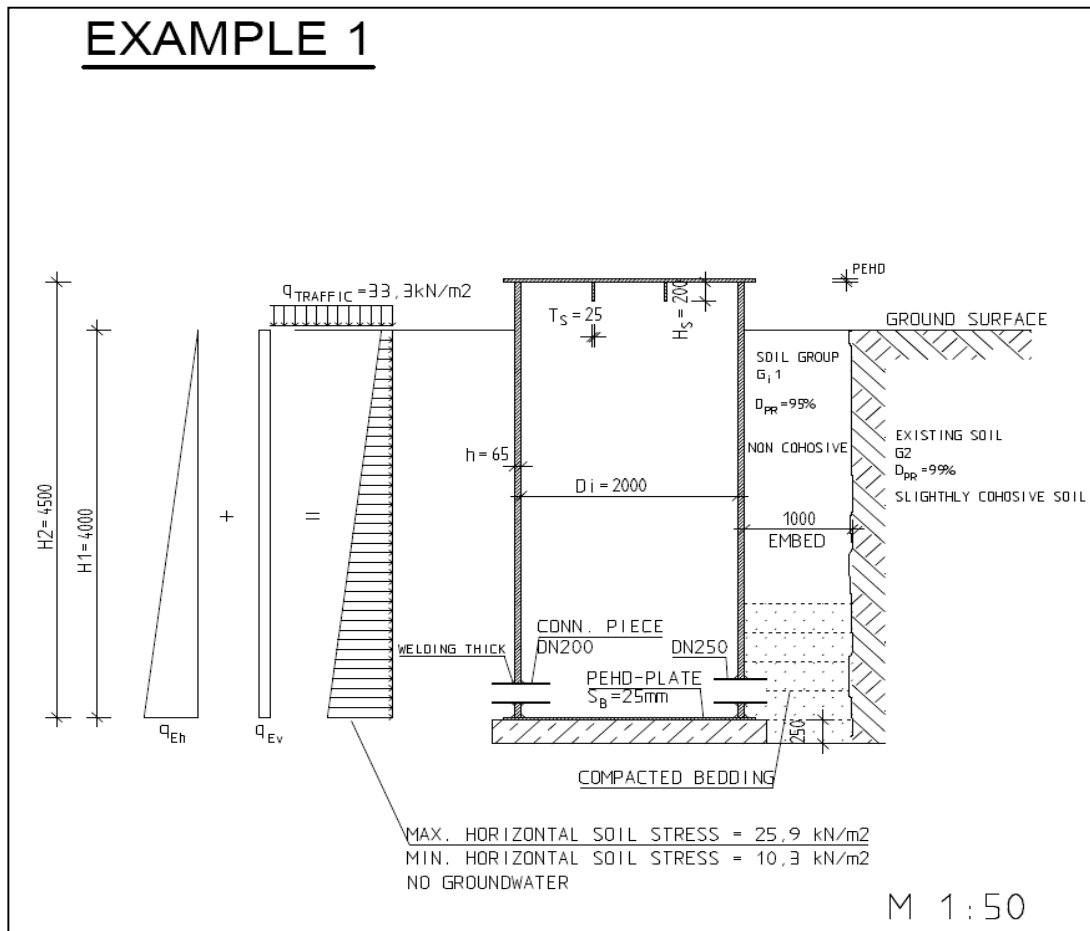


Bild 7 Grundlagen - Schachtberechnung

5.2 Material

Starre Schächte im Deponiebau sind Betonschächte bei niedrigen Einsatzhöhen in Oberflächen- und Randbereichen sowie Stahlbetonschächte. Statisch gesehen tragen solche Schächte den Druck, der aus dem Abfallkörper horizontal und vertikal auf die Schachtwand wirkt, durch ihre Festigkeit ab. Beton gilt als nicht dauerhaft sickerwasserresistent, so dass Maßnahmen zu Betonschutz erforderlich sind. In den meisten Fällen kommen hierfür PE-Betonschutzplatten zum Einsatz.

Flexible Schächte sind Kunststoffschächte. Im Deponiebau werden Schächte mit Vollwand und mit profilierter Wand eingesetzt. Für flexible Schächte werden im Deponiebau heute ausschließlich PE-Materialien eingesetzt. Statisch gesehen tragen solche Schächte den Druck, der aus dem Abfallkörper horizontal und vertikal auf die Schachtwand wirkt, nur bedingt durch ihre Festigkeit ab. Ein wesentlicher Anteil wird über das Zusammenwirken Schachtmantelung aufgenommen, wobei diese Schächte sich unter den horizontalen Lasten plan-

mäßig verformen und dadurch der Ummantelung eine mittragende Wirkung geben. Zur Aufnahme vertikaler Einwirkungen können bei tiefen Schächten zusätzliche Maßnahmen wie Teleskopierung erforderlich werden. Das Material PE gilt als vollständig Sickerwasserresistent, weitergehende Untersuchungen sind jedoch bei dauerhaft sehr hohen Temperaturen erforderlich.

5.3 Einwirkungen auf Schächte

Neben den horizontalen Einwirkungen aus dem Abfall entstehen durch Abfallsetzungen Mantelreibungskräfte die Vertikalkräfte auf Schächte ausüben. Zu berücksichtigen sind weiterhin Schiefstellungen und die deponiespezifischen Einflüsse Medienangriffe und Temperaturbelastung.



Bild 8 Schachteinbau

5.4 Aufgetretene Schäden

An einem Asbestzementschacht - sind durch Mantelreibung, die durch Abfallsetzungen hervorgerufen wurde, Elemente senkrecht ineinander geschoben worden. Asbestzement ist ein betonähnliches Material. Der Schacht muss aber bedingt durch die geringe Wanddicke von 3 cm den flexiblen Schächten zugeordnet werden. Dies hat zu Abplatzungen von Teilen der Schachtwand geführt, der Schacht muss aufgegeben oder vollständig erneuert werden.

Schächte aus Betonringen, die in Abfallböschungen stehen, wurden durch die unterschiedlichen Einwirkungen hang- und talseitig verschoben.

5.5 Diskussion der Einbettung mit Kies, Alternativen

Die Kiesummantelung der Schächte entstand aus dem Wunsch definiertes Material um den Schacht einzubauen. Sie wirkt als vertikale Drainage, als Temperaturpufferung und zur Vergleichsmäßigung der Mülleinwirkungen. Wie oben beschrieben traten jedoch auch Schäden im Bereich dieser Kiesummantelungen auf. Gemäß den Ergebnissen des genannten Forschungsvorhaben treten unter dem Kies insbesondere am Übergang zum Abfall deutlich höhere vertikale Drücke auf, als unter dem anschließenden Abfall. Dies führt zu höheren Setzungen und zu höheren Belastungen der dort verlegten Sickerrohre. Alternative Einbettungsmaterialien sind zum Beispiel Schlackearten mit geringem spezifischem Gewicht. Die Eignung ist jedoch im Einzelfall zu überprüfen und die statische Berechnung des Schachtes muss darauf abgestimmt werden.

6 Sanierung

Falls eine Schachtsanierung keine statischen Verbesserungen erbringen muss, können Beschichtungen eingesetzt werden. Sie können in weitgehend inertem Abfall, zum Schutz der Oberflächen der inneren Schachtwände eingesetzt werden. Falls die Sanierung auch die Schachtaußenseite einbeziehen soll, verbleibt wenig wirtschaftlicher Unterschied gegenüber einem Neubau, da die Außenfläche freigelegt und eingerüstet werden muss.

In Fällen, in denen eine Beschichtung der Innenseite technisch nicht ausreichend ist, kann ein bestehender defekter Schacht zum Einbau eines Inlinerschachtes genutzt werden. Hierfür muss der vorhandene Schachtdurchmesser aber ausreichend groß sein, da eine Querschnittsverminderung auftritt.

Für die Dimensionierung von Bauteilen bei der Sanierung von Schächten werden im Allgemeinen baustatische Methoden angewendet. Unter Berücksichtigung der deponiespezifischen Anforderungen an Material und Funktion kann eine Berechnung als elastisch gebetteter Kreisring erfolgen. Werden flexible Materialien eingebaut sind gegebenenfalls Stabilitätsnachweise erforderlich, wobei insbesondere bei Verdämmungen den Bauzuständen Rechnung zu tragen ist.

7 Literatur

- [1] GSTT Information Nr. 9 Instandhaltung von Entwässerungsleitungen in Deponien, August 2007
- [2] DIN 4266-1, Sickerwasserrohre für Deponien aus PVC-U, PE-HD und PP, Anforderungen, Prüfungen und Überwachung, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Januar 1992
- [3] DIN 8074, Rohre aus Polyethylen (PE) PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD Maße, Deutsches Institut für Normung, August 1999
- [4] DIN 8075, Rohre aus Polyethylen (PE) PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD, Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung, Deutsches Institut für Normung, August 1999
- [5] Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien - Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme - Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, November 1995
- [6] Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren, LGA/IB Wölfel vom Sept. 2000 und Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien unter Berücksichtigung des statischen Berstens und des Kurzrohrberstlining, LGA Bautechnik GmbH, Institut für Statik, 03.07.2006, zwei Forschungsvorhaben im Auftrag des LfU Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg

Autoren dieses Vortrages

Prof. Dr.-Ing. Albert Hoch, Dipl.-Ing. Armin Stegner