

**L Einbau einer Schrägschachtkonstruktion
aus tragenden Kunststoffbauteilen auf
der Deponie Beselich**

Dipl. Ing. Heike Frank, Wölfersheim

Dipl. Ing. Thomas Wegner, Bad Hersfeld

1 Einleitung

Bundesweit erstmalig wurde auf der Kreisabfalldeponie Beselich, Bauabschnitt B III/BA 3+4, ein Bauwerk zur Fassung und Ableitung des Deponiesickerwassers installiert, welches in Fachkreisen bereits entsprechende Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat. Das Besondere an dem aus vier Teilen bestehenden Bauwerk ist die Installation eines Schrägschachtes, der innerhalb der technischen Barriere im Böschungsbereich als selbsttragendes Element positioniert wurde und einen unterirdischen Einlaufschacht mit kompletter technischer Ausrüstung im Tiefpunkt der Deponiefläche sowie ein am Böschungskopf angeordnetes Einstiegsbauwerk verbindet.

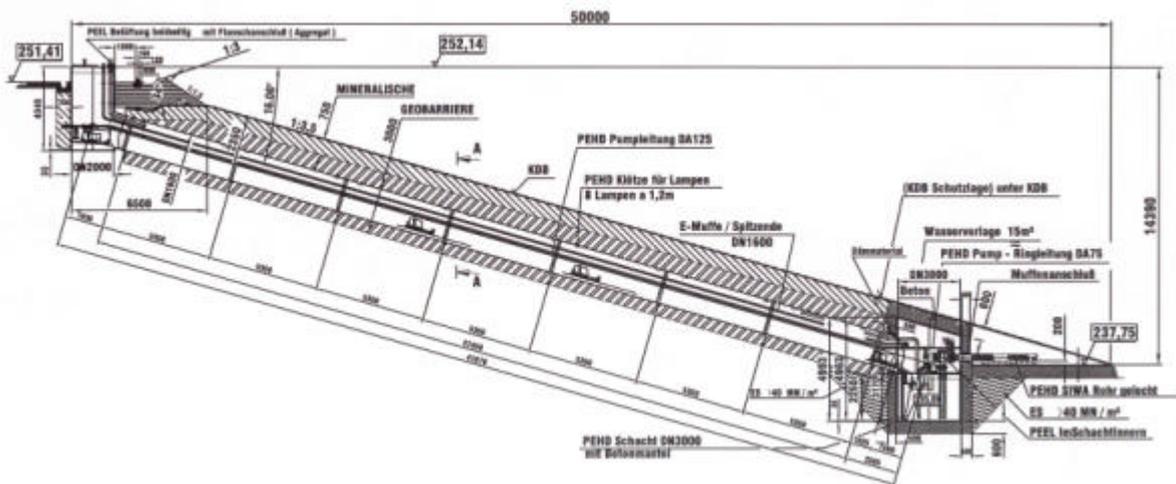


Abbildung 1: Systemdarstellung Schrägschacht mit Einlauf- und Einstiegschacht

Die Erstmaligkeit dieses Bauwerkes ist durch eine Komplettfertigung aus PEHD - Rohstoff begründet. In Zusammenarbeit zwischen der Hermann Kirchner GmbH & Co. KG, Bauunternehmung, Bad Hersfeld, und der Frank Deponietechnik GmbH, Wölfersheim, ist es gelungen, dieses anspruchsvolle Bauwerk gegenüber der planmäßig vorgesehenen Variante eines Betonabsenkbauwerk mit Rohrdurchpressung durchzusetzen.

2 Standort und Geländesituation

Die Kreisabfalldeponie Beselich, betrieben durch den Abfallwirtschaftsbetrieb Limburg-Weilburg, befindet sich im Landkreis Limburg-Weilburg, ca. 10 km nördlich von Limburg an der B 49. Zum jetzigen Zeitpunkt sind im Deponiebereich drei endverfüllte Deponieabschnitte sowie ein aktueller Verfüllabschnitt angesiedelt. Sämtliche Einlagerungsbereiche befinden sich auf dem Gelände einer ehemaligen Tongrube für den Abbau keramischer Tone. Aufgrund eines tagebauähnlichen Abbaubetriebes liegt die Einlagerungssohle des realisierten Erweiterungsabschnittes B III/BA 3+4 ca. 17 m unter umgebender Geländeoberkante.

Aktuell wird der fertig gestellte Einlagerungsabschnitt B III/BA 3+4 mit Siedlungs- und Gewerbeabfällen verfüllt. Im Endzustand wird eine Kubatur von ungefähr 1,2 Mio. m³ bei einer Einlagerungshöhe von bis zu 55 m erreicht.

Sämtliche Sickerwassersammler sind in ihren Längsgefällen zu der endgültigen Sickerwasserfassung am Tiefpunkt im neu errichteten Einlagerungsabschnitt ausgerichtet. Der für die Sickerwasserabführung zu überwindende Höhenunterschied zwischen Sickerwasservorlage und Mengenausgleichbehälter beträgt ungefähr 23 Höhenmeter. Das gesamte Einzugsareal für die hergestellte Sickerwasserfassung beläuft sich auf ca. 9,6 ha.

Ursprünglich war zur Sickerwasserfassung am Tiefpunkt die Ausführung ein in einem Ortbetonabsenkschacht angeordneter Pumpschacht mit Sickerwasservorlage und zuführenden Leitungen in einer Rohrdurchpressung mit einem Innendurchmesser von 1.200 mm vorgesehen.

Gegenüber der konventionellen Bauweise mit Absenken eines Schachtbauwerkes und Herstellen der zuführenden Leitungen innerhalb eines Pressstollens wurde im Rahmen der Bauausführung erkannt, dass die Herstellung eines Schachtbauwerkes im günstigsten Fall innerhalb einer offenen Baugrube erfolgen sollte, um eventuelle Inhomogenitäten im Baugrund wie z. B. alte Abbaustollen der Tongrube bzw. eventuell auftretende Schichtenwässer entsprechend zu berücksichtigen bzw. geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Nach umfangreicher Planung und Genehmigung konnte ein dauerhaft zugänglicher Pumpschacht aus PEHD - Material innerhalb der Basisabdichtung (Kombinationsabdichtung nach TAsi mit darunter liegender Technischer Barriere) hergestellt werden.

Aus den geometrischen Randbedingungen der Bauaufgabe ergibt sich zwangsläufig, dass das herzustellende Sickerwasserfassungsbauwerk neben den Anforderungen an Fassung, Pufferung sowie Weiterführung der Sickerwässer für Wartung und Revision begehbar, sowie reparierbar sein muss.

Grundsätzlich waren die Anforderungen der einschlägigen Verordnungen und Technischen Regeln (z. B. hinsichtlich der Doppelwandigkeit für sickerwasserführende Systeme oder BGR 127 etc.) einzuhalten.

3 Technische Angaben zum Bauwerk

3.1. Konstruktion

Durch konsequente Befolgung der geometrischen sowie der bodenmechanischen Randparameter und unter genauester Betrachtung der qualitätstechnischen Erfordernisse wurde die Ausführung eines PEHD - Schachtbauwerkes in einer offenen Baugrube zur Genehmigung vorgelegt und nachfolgend im Jahr 2003 ausgeführt.

Die Herstellung des Schachtbauwerkes erfolgte im Werk der Frank Deponietechnik GmbH, Wölfersheim, in vier Einzelbauteilen:

- ◆ Einlaufschachtbauwerk
- ◆ Schrägschacht (2-teilig)
- ◆ Einstiegsschacht

Werkseitig wurden bereits in sämtlichen Einzelbauteilen die erforderlichen Einbauten für Sickerwasserfassung, Regelung, Abführung, Wartung, aktiver und passiver Belüftung sowie Kontrolle der Dichtigkeit installiert.

Einlaufschacht:

- ◆ Durchmesser \varnothing i 3.000 mm
- ◆ mittlere Bauhöhe 5.500 mm,
- ◆ komplett vorinstalliert mit zwei Sickerwasserpumpen (Förderleistung je Pumpe > 36 m³/h, H ~ 25 m)
- ◆ Sickerwasservorlage mit einem Volumen von ungefähr 15 m³
- ◆ Installationen für Kontrolle der Dichtigkeit im Schachtmantel und Überlaufschutz

Schrägschacht:

- ◆ Durchmesser Ø i 1.600 mm
- ◆ Gesamtlänge 42 m
- ◆ 16° geneigt
- ◆ komplett vorinstalliert mit Belüftungszuleitungen, Pumpendruckleitung, Spülleitung, Kabelleerrohre für spätere Beleuchtungsanlage

Einstiegsschacht:

- ◆ Durchmesser Ø i 2.000 mm
- ◆ mittlere Bauhöhe 4.900 mm,
- ◆ komplett vorinstalliert mit Einbauten für die Personenbeförderung (Ex-geschützte Seilwinde und Personenbeförderungswagen) sowie der erforderlichen Messtechnik für Durchfluss- und Leckageüberwachung.

Im installierten Zustand überwindet das Bauwerk zwischen dem Einlaufschacht und dem Einstiegsschacht einen Höhenunterschied von ungefähr 17 m bei einer Schrägschachtneigung von ungefähr 1:3. Das Gesamtbauwerk ist innerhalb der technischen Barriere in einem definiert aufgefahrenen und vergütert verfüllten Graben positioniert.

3.2. Vorgabe der Finite-Elemente-Berechnung

Für den Schrägschacht DN 1600, der eine maximale Überdeckung von 31 m mit ca. 28 m Müll und 3 m Boden erfährt, wurde zur Planfreigabe durch das LGA Nürnberg eine Finite-Elemente-Berechnung erstellt (vgl. hierzu **Standicherheit von PE-HD Rohren als Schrägschacht**, A. Stegner, Tagungsband 19. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Seite J11-28, 2003). Der statische Nachweis wurde für drei Überdeckungshöhen/Lastfälle im Bereich des Schrägschachtes geführt. Für den unteren Bereich wurde eine maximale Auflast von 480 kN/m² angesetzt.

Im Ergebnis der Finite-Elemente-Berechnung der LGA Nürnberg wird dargelegt, dass das Schachtbauwerk aus einem PE 80-Material ($E_k \sim 800 \text{ N/mm}^2$, $E_l \sim 170 \text{ N/mm}^2$ und Wichte 9,5 kN/m³), eingebunden in ein Bodenmaterial mit einer Steifeziffer von 40 MN/m² maximale Verformungen deutlich unter den Grenzverformungen von 6 % bei einfacher Last bzw. 12 % bei zweifacher Beaufschlagung erfährt. Im Ergebnis wurden in Abhängigkeit der späteren

Überlagerungshöhe Wickelrohrprofile mit einer Ringsteifigkeit S_{24} von 18,6 kN/m² bis 9,3 kN/m² für den Schrägschacht festgelegt.

Für den PEHD-Einlaufschacht DN 3000 wurde eine vollständige Betonummantelung vorgesehen, die für alle äußeren Auswirkungen aus der darüberliegenden Deponie statisch mittels Finite-Elemente-Methode bemessen wurde. Der PEHD-Schachtmantel DN 3000 wurde für den Betonierdruck bemessen, ebenso für den Lastfall Wasserdruck von außen durch die Bettung im erhärteten Beton.

4 Produktion

4.1. Werkstoff PEHD – Vorteile

Der Werkstoff PEHD erlaubt im Wickelverfahren eine Optimierung der Rohrwanddicken bzw. Rohrprofile entsprechend den statischen Anforderungen. Die im Verhältnis zu anderen Werkstoffen geringen Gewichte der Bauteile oder Einzelrohre bieten während der Bauausführung Verlegevorteile, eine Vorkonfektionierung von größeren Gewerken ist daher möglich und reduziert den Baustellenaufwand.

Die Verwendung von PEHD-Materialien in der Fertigung von Deponiebauwerken ermöglicht die Herstellung eines dichten, beständigen und geschlossenen Bauwerkes.

Ein besonderer Vorteil für die Komplettherstellung des Schrägschachtes der Deponie Bese-lich war die längskraftschlüssige und dichte Rohrverbindung durch Elektromuffenschweissung der PEHD-Wickelrohre DN 1600.

4.2. PEHD-Wickelrohrfertigung nach DIN 16961

Die PEHD-Wickelrohre für den Einlaufschacht DN 3000, Schrägschacht DN 1600 und Einstiegsschacht DN 2000 wurden nach den Vorgaben der Statik im Wickelrohrwerk FRANK-Krah GmbH hergestellt. Für die Herstellung der Wickelrohre werden ausschließlich Rohstoffe mit DIBt-Zulassung und garantierten Eigenschaften betreffend mechanischer, chemischer, thermischer Belastung sowie garantierte Beständigkeit gegen UV-Strahlen verwendet. Die aus statischer Sicht einzuhaltenden Materialkenngrößen (Kriechmodul und Grenzspannungswerte) erfüllt die Formmasse Hostalen GM 5010 T 3, der Basell Deutschland GmbH. Dieser Werkstoff kam ohne Regeneratzusatz zum Einsatz.

Alle PEHD-Wickelrohre wurden mit inspektionsfreundlicher gelber Innenfläche hergestellt.

4.3. Werksfertigung der PEHD-Bauteile / Schächte

Die Fertigung der PEHD-Sonderbauteile und Schächte erfolgte in der Werkstatt der Frank Deponietechnik GmbH durch qualifizierte, DVS-geprüfte Kunststoffschweißer.

Die für die Bauteilfertigung erforderlichen Materialien, Schweißverfahren und Schweißnahtgeometrien wurden in den Werkszeichnungen dokumentiert sowie während der Fertigung kontrolliert und überwacht. Extrusionsschweißnähte wurden als Referenznähte zur werkseitigen Dokumentation zerstörend geprüft. Alle Schweißverbindungen an den Bauwerken wurden zudem auf Maßhaltigkeit und Dichtigkeit kontrolliert und die Bauteilfertigung mit Werksprüfzeugnis nach DIN EN 10204 dokumentiert.

Alle PEHD-Bauteile/Schächte entsprachen den Vorgaben des Qualitätssicherungsplanes und wurden vor Auslieferung im Herstellerwerk durch die Fremdüberwachung, Büro Dr. Knipschild, freigegeben.

4.4. Einlaufschacht DN 3000

Der PEHD – Einlaufschacht aus Wickelrohr DN 3000 nach DIN 16961 mit einer maximalen Höhe von 5,5 m ist als selbsttragendes Bauwerk konstruiert. Die Aufnahme der statischen Lasten für 31 m Endabdeckungshöhe erfolgt über einen Stahlbetonmantel.

Der PEHD-Schachtmantel, -Boden und –Decke werden über gebohrte PEHD-Stege als Verbundelemente mit dem Stahlbeton verankert. Das untere Schachtbauwerk mit einer Höhe von ca. 2,2 m dient zur Sickerwasservorlage (ca. 15 m³); die Ausführung erfolgte doppelwandig und kontrollierbar. Die Dichtheit der Sickerwasservorlage wurde im Werk mittels Vakuumprüfung bestätigt.

Im oberen Schachtbereich befinden sich zwei Sickerwasserpumpen, Kontroll- und Wartungsöffnungen für die Sickerwassersammler sowie Pump- und Versorgungsrohre. Gasführende Rohrleitungen und Belüftungsrohre wurden aus PEHD elektrisch leitfähig hergestellt.

Der Anschlussstutzen für den Schrägschacht DN 1600 schließt im oberen Schachtbereich in einer Neigung von 16° an. Für den Stutzen wurde PEHD-Wickelrohr als Vollwandmaterial $s = 67$ mm mit einseitig angeformter PEHD-Elektroschweißmuffe verwendet, die Durchdringung wurde mit einer Warmgasextrusionsnaht ausgeführt. Für den Schweißzusatz und die Plattenmaterialien wurden Formmassen mit analogen Materialkennwerten verwendet.

4.5. Einstiegsschacht DN 2000

Der Einstiegsschacht aus PEHD–Wickelrohr DN 2000 nach DIN 16961 mit einer Höhe von 4,9 m befindet sich im direkten Anschluss seitlich der Deponierungstrasse, außerhalb des Verfüllabschnittes.

Der Einstieg erfolgt über eine Einstiegsöffnung DN 1200 mit Hosengurt und Sicherheitsseil. Im trittsicheren Sohlbereichs des Schachtes ist das Personenbeförderungsgerät (Rollwagensystem) und die Seilwinde angeordnet. Über den seitlich schräg eingeschweissten PEHD-Rohrstutzen DN 1600 des Schrägschachtes wird nach Fertigstellung des Komplettsystems die Befahrung bis zum Einlaufschacht ermöglicht. Die Leistungsfähigkeit der Seilwinde beträgt 10 m/Minute und ist exgeschützt sowie stufenlos regelbar ausgeführt.

Außer der Befahrungstechnik ist das komplette Schachtbauwerk eine reine PEHD - Konstruktion. Alle tragenden Teile wie Schachtmantel, Boden, Deckel und Rohrstutzen wurden statisch bemessen und nach den Vorgaben der Qualitätssicherung gefertigt.

4.6. Schrägschacht DN 1600

Der PEHD–Schrägschacht aus PEHD–Wickelrohren DN 1600 nach DIN 16961 stellt die Verbindungsleitung zwischen Einstiegsschacht und Einlaufschacht dar und dient der Befahrung sowie der Anordnung von Pumpendruck-, Versorgungs- und Belüftungsleitungen.

Zur Herstellung der Gesamtlänge von ca. 39 m wurden PEHD–Wickelrohre DN 1600 in Standardlängen von 6 m, einerseits mit Elektroschweißmuffe, andererseits mit Spitzende hergestellt. Um die Verbindungsnahte auf der Baustelle zu minimieren und somit den Bauablauf optimal zu gestalten, wurden die Einzelelemente in der Fertigung der Frank Deponietechnik GmbH mittels Elektromuffenschweißverfahren nach DVS verbunden. Die maximal vorgefertigte Länge betrug 23,4 m. Alle werkseits hergestellten Nahtverbindungen wurden mittels pneumatischen Muffendruckprüfgerät auf Dichtigkeit geprüft.



Abbildung 2: Transport eines vorgefertigten Schrägschachtes DN 1600, Länge 23,4 m.

4.7. Baustellenschweissung DN 1600

Der PEHD-Schrägschacht DN 1600 wurde auf der Baustelle mit drei Elektromuffenschweissverbindungen installiert: Je eine Anschlussnaht an die Rohrstutzen DN 1600 des Einstiegs- und Einlaufschachtes sowie eine Verbindungsnaht im Schrägschacht.

Nach Herstellung der höhen- und fluchtgerechten Muffen-/Spitzendenverbindung wurde innen im Bereich der Schweißzone ein Stützring eingestellt. Zum Aufbringen des zur Schweißung erforderlichen Fügedrucks wurde ein Edelstahlspannband außen über die Elektroschweißmuffe montiert.

Die Eingabe der Schweißparameter erfolgte mittels Einlesen des durchmesserspezifischen Barcodes am Elektromuffenschweißgerät:

- ◆ Formstückwiderstand: 0,35 Ohm
- ◆ Sekundärspannung 32 Volt

- ◆ Energie: ca. 2100 KJ
- ◆ Fügezeit: 1025 sec

Die werkseitig in die Muffe eingelegte Heizwendel erwärmt und plastifiziert den Muffen-/Spitzendenbereich. Durch den aufgebrachtten Fügedruck wird eine dichte, längskraftschlüssige Verbindung hergestellt, welche nach einer Abkühlzeit von 35 Min. eine Innendruckbelastung von mind. 1,5 bar gewährleistet.

4.8. PEHD-Einlaufbauwerk

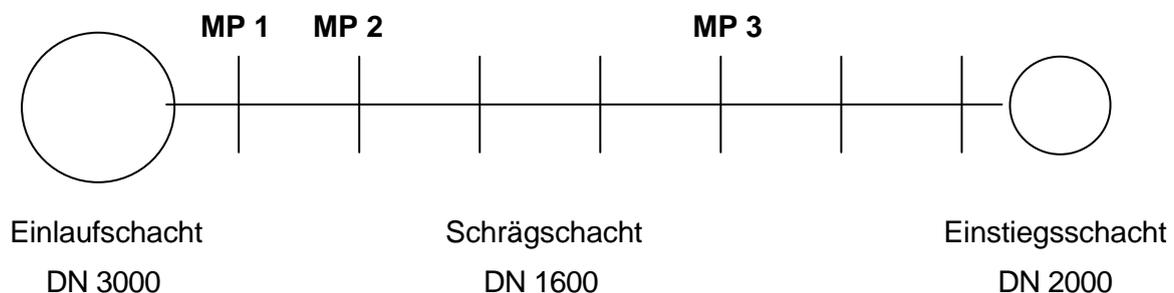
Das Einlaufbauwerk wurde als monolithische Betonflügelwandkonstruktion im Sohlbereich der Deponie mit parallelen, der Böschungsneigung angepassten Seitenwänden hergestellt. Alle im Bereich der Verfüllung liegenden Betonflächen wurden mit **agru sure grip** Betonschutzplatten, $s = 8 - 10$ mm aus PEHD geschützt.

Die PEHD-Einzelemente wurden werkseitig den Schalungselementen entsprechend vorkonfektioniert.

4.9. Qualitätssicherung zur Bauausführung

Die kunststofftechnische Bauüberwachung und Betreuung der Baumaßnahme erfolgte durch Büro Dr. Knipschild, Rosengarten.

Als nachsorgliche Kontrolle der Verformung des schräg liegenden Schachtbauwerkes und zur Überprüfung des fachgerechten Einbaus wurden drei Messstationen mit je vier Messpunkten im Schrägschacht vorgesehen.



	Messpunkt 1 SQ 1-26			Messpunkt 2 SQ 1-15			Messpunkt 3 SQ 1-12		
	d _i in cm vor ver- füllen	d _i in cm nach verfüllen	Diff.	d _i in cm vor ver- füllen	d _i in cm nach verfüllen	Diff.	d _i in cm vor verfüllen	d _i in cm nach verfüllen	Diff.
horizontal	160,3	159,4	- 0,9	160,0	157,3	- 2,7	160,4	157,1	- 3,3
vertikal	159,3	159,9	+ 0,6	158,5	160,9	+ 2,4	157,6	160,6	+ 3

Tab.1: Verformung des Schrägschachtes nach dem Verfüllen, Quelle Büro Dr. Knipschild, Rosengarten

Die Querschnittsmessungen im Schrägschacht ergaben eine maximale Verformung von 3,3 cm im Horizontalbereich. Daraus ist auf eine fachgerechte seitliche Verdichtung des Bauwerks zu schließen. Dieses leichte Hochoval bedeutet zusätzliche Sicherheit für die PEHD-Rohre.

Zur Zeit wird im Deponieerweiterungsabschnitt bereits verfüllt, der Böschungsbereich mit dem PEHD-Bauwerk ist komplett mit Müll überschüttet. Im Rahmen der Nachsorge und Kontrolle sind regelmäßige Messungen an den vorgegebenen Messpunkten vorgesehen.

Für den Einlaufschacht DN 3000 wurden beispielhafte Durchmessermessungen vor und nach dem Betoniervorgang durchgeführt. Die Veränderungen des Schachtquerschnitts durch das Betonieren waren geringfügig und sind zu vernachlässigen.

5 Baugrunduntersuchung/Schlussfolgerungen¹

Aufgrund der Ausführung des Schachtbauwerkes als selbsttragendes Element war es für die Vorbemessung der Profilstärken erforderlich, exakte Randbedingungen für den angrenzenden Baugrund sowie maximal verträgliche Verformungen bzw. Setzungsdifferenzen im Grundmaterial festzulegen. Es musste davon ausgegangen werden, dass die Randparameter unter Umständen im Widerspruch zu den tatsächlichen geologischen Verhältnissen stehen und somit ohne weitere Vorabmaßnahmen ein nicht kalkulierbares Risiko darstellten.

¹ Co-Autor Bereich Bodenmechanik: Dr. Ing. Uwe Lehmann, IFG Dr. Zirfas, Limburg

Infolge wurden diverse Untersuchungen zur Unterlegung der Finite-Elemente-Berechnung durchgeführt. Zu ihnen zählen:

- ◆ erweiterter Baugrundaufschluss/Begutachtung der Baugrubensohle
- ◆ Baugrundmodellierung für unterschiedliche Vorbelastungs- bzw. Verfüll-/Überlagerungszustände
- ◆ Setzungsberechnung bei unterschiedlichen Steifeziffern im Verfüllbereich des Schrägschachtes/Abgrenzung von ungenügenden Bodensteifigkeiten
- ◆ Festlegung der benötigten bzw. abzuändernden Gerätetechnik.

Maßgebend für die Umsetzung der Ergebnisse aus der FE-Berechnung sind jedoch detaillierte Aussagen über das anstehende Bodenmaterial im Nahbereich des zu errichtenden Schachtbauwerkes. Dabei muss unter Berücksichtigung der sehr unterschiedlichen ehemaligen Erdauflast eine differenzierte Steifigkeit des Untergrundes angegeben werden. Ersatzweise wurde hierfür aufgrund der zeitlichen Enge die für ähnliche Baugrundverhältnisse (tertiäre Tone) geltende "Frankfurter Steifezifferformel" verwendet. Darüber hinaus wurden im Rahmen der geotechnischen Modellbildung Belastungsverhältnisse für unterschiedliche Zustände abgebildet. Hieraus ergibt sich, dass selbst im Endverfüllzustand die Auflast des Abfallkörpers nur in Teilbereichen die ehemaligen Spannungen aus der Vorbelastung leicht übersteigen. Dies bedeutet, dass nahezu komplett Wiederbelastungsverhältnisse vorliegen.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Auflasten wurden Verformungsermittlungen durchgeführt, welche im Ergebnis der Ermittlung des Setzungsverhaltens und daraus abgeleitet der Ermittlung eines Bettungszifferansatzes dienen.

Bei Ansatz einer Arbeitsraumverfüllung entsprechend dem natürlich umgebenden Baugrund wird ersichtlich, dass unter Beachtung der vollen Abfalllast im Endzustand die Setzungen am oberen Ende des Schachtbauwerkes nahezu 0 sind, im Bereich des unteren Schachtbauwerkes liegen die Setzungen bei 6 bis 6,5 cm. Die Setzungsdifferenzen betragen auf eine Entfernung von ca. 2,5 m ca. 5 mm, woraus sich ein Differenzsetzungsverhältnis von 1:500 ergibt. Derartige Differenzsetzungen gelten im Allgemeinen (Empfehlungen „Verformungen des Baugrundes bei baulichen Anlagen“ – EVB Arbeitskreis „Berechnungsverfahren“ der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., Ernst & Sohn, 1993) als bauwerksunschädlich.

Aufgrund der höheren Steifigkeit der tiefer liegenden Bodenschichten erhöht sich die Bettungsziffer von $k_s = 3 \text{ MN/m}^3$ am oberen Rand des Schrägschachts auf $k_s = 7 \text{ MN/m}^3$ im Bereich des Stahlbetoneinlaufbauwerkes am unteren Rand des Schrägschachts.

Ergänzend wurden Setzungsberechnungen durchgeführt, welche im Ergebnis darlegen, wie Änderungen im Setzungsverhalten bei niedriger oder zu hoher Steifeiziffer im Verfüllbereich des Schachtbauwerkes eintreten. Insbesondere bei zu niedriger Steifigkeit entstehen deutlich Diskontinuitäten im Bereich der Setzungen beidseits des Schachtbauwerkes. Die Differenzsetzungen erreichen hier auf ca. 2,5 m Abstand 1 cm, woraus sich ein Differenzsetzungsverhältnis von 1:250 für den Ansatz einer halbierten Steifigkeit des Baugrundes im Bereich der Arbeitsraumverfüllung ergibt. Bei noch geringeren Steifigkeiten der Arbeitsraumverfüllung ist sinngemäß mit noch größeren Setzungen und Differenzsetzungen zu rechnen.

Höhere Steifigkeiten der Arbeitsraumverfüllung, als sie der umgebende natürlich Baugrund aufweist, führen im Setzungsverhalten nicht zu so deutlichen Änderungen. Diese dürften trotzdem schädlich für die Auflagerung des Rohres und damit dessen Bemessung sein und waren daher ebenfalls zu vermeiden.

In der Konsequenz ergibt sich, dass die Rückverfüllung der Arbeitsräume um das Gesamtbauwerk mit bindigem Boden dergestalt erfolgen muss, dass die Steifigkeit des hier anstehenden natürlichen Bodens näherungsweise mit einer Steifeiziffer $E_s = 45$ bis 50 MN/m^3 reproduziert wird.

Im Ergebnis der Finite-Elemente-Berechnung sowie der durchgeführten Bodenuntersuchungen/Setzungsberechnungen konnten die nachfolgenden Vorgaben für die Bauausführung aufgestellt werden:

- ◆ umfangreiche Konditionierung des Verfüllmaterial um das gesamte Schachtbauwerk mit einem Mischbinder, Zugabemenge ungefähr 5 %
- ◆ zu erzielende Steifeiziffer im Verfüllmaterial $E_s = 45$ bis 50 MN/m^2
- ◆ Herstellung des rohrseitigen Auflagerbereiches mit Überprofil und anschließendem Herausschälen des 120°-Auflagers für den Schrägschacht
- ◆ sofortiger sorgfältiger Witterungsschutz der Aushubsohlen
- ◆ umgehendes Auflegen der Rohre nach Endprofilierung
- ◆ Einbinden des Einlaufschachtes in Stahlbeton B 35/B 45, BSt 500

- ◆ Auffüllen des Einlaufschachtes während des Betoniervorganges mit Wasser sowie Aussteifen der Schachtdecke
- ◆ zusätzliche Verbindungselemente zwischen Schachtkörper und Beton sowie Einschränkung der Betoniergeschwindigkeit
- ◆ Qualitätssicherung im verdichteten Beprobungsraster mit umfangreicher Eignungsprüfung während der Vorprofilierung und Verfüllung sowie
- ◆ Verformungsmessungen im Schachtinneren während der Betonier- und Verfüllarbeiten.

6 Installation

6.1. Auffahren der Baugrube

Vorliegende, umfangreiche Baugrundgutachten über den Einbaubereich sowie Erfahrungen aus Abtragungsarbeiten im gesamten Deponieareal führten bereits in der Bearbeitungsphase zu der Festlegung, dass die Baugrube als offene Baugrube ohne jegliche Verbauarbeiten ausgeführt werden kann.

Zur weiteren Absicherung der Baugrubensohle in dem Bereich des Einlaufschachtes wurden nach Festlegung der Fremdgutachter Kontrollbohrungen hinsichtlich gespannter Grundwasserhältnisse durchgeführt. Ein dabei angetroffener Wasserhorizont konnte aufgrund der Entlastung durch die Bohrung sowie eine bereits im Böschungskopf angeordnete Tiefendrainage im Nahbereich des Bauwerkes als unproblematisch vernachlässigt werden.

Im gesamten Baugrubenbereich wurden hochfeste, den Baugrundmodellierungen entsprechende tertiäre Tone angetroffen, welche aufgrund ihres geringen Wassergehaltes sowie der hohen Kohäsionsanteile ohne weiteres mit Böschungsneigungen von 60° abgetragen wurden. Die tiefste Aushubsohle wurde im Bereich des Einlaufschachtes ca. 3,50 m unter umgebendem Deponiebasisniveau hergestellt.

Ein ausschlaggebender Vorteil der offenen Baugrube war die visuelle Kontrolle des anstehenden Bodenmaterials und der somit mögliche Vergleich hinsichtlich Abweichungen zur Baugrundmodellierung/Statik.

6.2. Stellung und Betonierung Einlaufschacht

Gemäß den Vorgaben aus der Statik war der Einlaufschacht mit einem Beton B 45 im Aufstandsbereich sowie einem B 35 im gesamten Mantel- und Deckenbereich unter Hinzuziehung von Betonstabstahl BSt 500 zu ummanteln. Insgesamt wurden ca. 7,9 t Bau- stabstahl sowie 52 m³ Beton verbaut. Aufgrund des hohen Eigengewichtes des Einlaufschachtes wurde im Bereich der Sohlbewehrung ein selbsttragender Auflagering zum Aufstellen des Einlaufschachtes angeordnet, so dass die vorhandene Bewehrung nicht durch Auflast verschoben bzw. der notwendige Betonüberstand eingehalten wird.

Nach Aussteifen des Schachtmantels und Befüllen mit Wasser konnte der vorproduzierte Einlaufschacht als verlorene Innenschalung verwendet werden. Die Außenschalung wurde konventionell hergestellt. Das Betonieren erfolgte in vier Abschnitten:

- ◆ Sohlbeton
- ◆ Mantelbeton bis Anschlussstutzen
- ◆ Mantelbeton bis Decke
- ◆ Deckenbeton sowie Durchdringungsbauwerk.

6.3. Auflagerherstellung Schrägschacht

Anschließend wurde an den bereits teilbetonierten sowie teilverfüllten Einlaufschacht in der 1:3 geneigten Baugrube des Schrägschachts das Überprofil des Schachtauflagers unter Einsatz gängiger Tiefbautechnik eingeschoben, verdichtet und auf Höhe abgezogen. Das hierfür verwendete Material wurde entsprechend den vorliegenden Eignungsprüfungen mit einer Mischbinderzugabemenge von 5 % vergütet und umgehend der Verwertung zugeführt. Als Mischbinder kam die Mixtur Okadur LC 30 der Fa. Otterbein mit einem Zementanteil von 60 % und einem Kalkanteil von 40 % zum Einsatz.

Zur Herstellung des 120°-Auflagers entsprechend der Schrägschachtaußenabmessungen konnte eine einfache, jedoch effektvolle Detaillösung angewendet werden. Hierzu wurde ein vorhandener Tieflöffel mit einer gehärteten Stahlform derart erweitert, dass bei einer ausreichenden Seitenführung das Schachtauflager aus dem Überprofil ungestört und mit hoher Genauigkeit (lasergesteuert) herausgeschält werden konnte. Die geforderte Qualität des Rohrauflagers wurde ohne weitere Nacharbeiten erzielt.

Gegenüber einer konventionellen Rohrverlegung und umfangreicher Verdichtung im Zwickelbereich zwischen Auflagerfläche und Kämpfer wurde eine erhebliche Zeiteinsparung erzielt. Die geforderten Auflagerbedingungen gemäß Statik-Vorgaben wurden unproblematisch nachgebildet.



Abbildung 3: Montage Schrägschacht DN 1600

6.4. Montage Schrägschacht

Der zu montierende Schrägschacht wurde in zwei Einzellängen (ca. 2/3 und 1/3 Gesamtlänge) auf der Baumaßnahme angeliefert und unter Zuhilfenahme von Schwerlastkränen direkt in das vorbereitete Auflager eingeschwenkt. Werkseitig installierte Heizwendeln im Muffenbereich der Einzelteile ermöglichten ein unkompliziertes und absolut dichtes Verbinden der einzelnen Stöße untereinander sowie der Verbindung zu den am Kopf bzw. Fußpunkt angeordneten Schachtbauwerken.

6.5. Einstiegsschacht/Einlaufbauwerk

Die Lieferung und Montage des am Böschungskopf angeordneten Einstiegsbauwerks erfolgte entsprechend der bereits beschriebenen Vorgehensweise ebenfalls unproblematisch.

Für die Herstellung des Durchdringungsbauwerkes an der Deponiesohle wurden bereits während der Betonierarbeiten am Schachtmantel des Einlaufschachts PEHD-Betonschutzplatten auf der Einlaufseite einbetoniert. Auf einer anschließend betonierten Sohlplatte mit Anschlussbewehrung wurde nach Kontrolle der Ebenflächigkeit eine freischwimmende Betonschutzplatte installiert und die seitwärts aufgehenden Flügelwände nach Installation mit rückverankerten PEHD-Betonschutzplatten betoniert. Sämtliche Plattenstöße wurden nach einem bereits im Vorfeld abgestimmten Verbindungsschema mittels Extrusionsschweißnaht untereinander verbunden und für den Anschluss der Kunststoffdichtungsbahn durch Installation von PEHD-Plattenmaterial in Winkelform vorbereitet.



Abbildung 4: Gesamtbauwerk vor Verfüllung

6.6. Verfüllung der Baugrube

Während bei der Verfüllung der Baugrube im Bereich des Einlaufschachtes aufgrund des vorhandenen Betonmantels keine Verformungen bei Ausführung der Verfüllarbeiten zu erwarten waren, wurde auf eine begleitende Verformungskontrolle während der Verfüllarbeiten am Schrägschacht und am Einstiegsschacht besonderen Wert gelegt.

Die Verfüllung im Bereich des Schrägschachts und des Einstiegsschachtes wurde bis zu einer Überdeckungshöhe des gesamten Schrägschachts von ungefähr 80 cm ausnahmslos mit Kleingerät durchgeführt. Parallel zum lagenweisen Einbau (Lagenstärke ca. 25 cm) wurden baubegleitend die Kontrollvermessungen im Schrägschacht (Abstand Rohrsohle/Rohrscheitel sowie Kämpfer) und bodenmechanische Kontrolluntersuchungen durchgeführt. Vermessungen des Fremdüberwachers ergaben, dass ein aufgrund von Wärmeeinwirkung entstandenes Flachoval im Schachtmantel während der Verfüllarbeiten in ein leichtes Hochoval umgeformt wurde. Das im Endzustand gemessene Hochoval mit einer Maßdifferenz von 2 % zum Idealquerschnitt wurde dabei als unschädlich bewertet.

Die Auswertung der bodenmechanischen Vergleichsuntersuchungen ergaben im Ergebnis volle Übereinstimmung mit den gemäß Baugrundmodellierung und Vergleichsberechnung ermittelten Bezugsgrößen.

7 Zusammenfassung

Auf der Kreisabfalldeponie Beselich, Bauabschnitt B III/BA 3+4, wurde im Jahr 2003 erstmalig ein Schrägschachtbauwerk aus PEHD-Rohstoffen in einer selbst tragenden Ausführung hergestellt. Gegenüber einer konventionellen Herstellung als Betonbauteil (Ausführung als Absenkschacht sowie Rohrdurchpressung über ungefähr 45 m) kann ein deutlicher Vorteil hinsichtlich des Ausführungszeitraumes sowie der möglichen Qualität verzeichnet werden.

Folgende Vorteile können benannt werden:

- ◆ Kostenersparnis
- ◆ Zeitersparnis
- ◆ hohes Qualitätsniveau durch werkseitige Vorfertigung und somit Ausschluss von Störfaktoren bei der Bearbeitung des Baustoffes
- ◆ dauerhafte Kontrollierbarkeit des Bauwerks
- ◆ platzsparende Bauweise zwischen KDB und mineralischem Untergrund

- ◆ direkte Einsicht in den umgebenden Baugrund und Möglichkeit der Einflussnahme auf störende Faktoren
- ◆ geringe Anzahl an notwendigen Fachunternehmen.

Abschließend soll aufgeführt werden, dass die Planung und Umsetzung dieser selbsttragenden Schachtkonstruktion nur in enger Zusammenarbeit mit dem Bauherrn, der Genehmigungsbehörde, den Fachgutachtern sowie der vor Ort tätigen Bauoberleitung möglich wurde.

Summary

In 2003, there has been fabricated a bevelled manhole building, made of HDPE raw material for landfill Beselich, section B III/BA 3+4, which was made in a self-supporting execution.

In relation to a conventional production as concrete construction unit (execution as a sink manhole construction as well as pipe throughpress over approximately 45 m) a clear advantage can be registered regarding the run time area as well as the possible quality.

The following advantages can be stated out:

- ◆ Saving of costs
- ◆ Time saving
- ◆ High quality level by standard prefabrication and thus exclusion of interference factors during processing of the building material
- ◆ Permanent monitoring of the building
- ◆ Space-saving building method between HDPE liner and mineral landfill barrier
- ◆ Direct insight into the surrounding building ground and possibility of the influencing control on disturbing factors
- ◆ Small number of necessary specialized enterprises.

Finally it is to be specified that the planning and conversion of this self-supporting manhole construction became only possible in close co-operation with the owner, the authorizing agency, the experts as well as the local site management.

8 Quellenverzeichnis

- [1] **Änderung der Ausführungsplanung des Sammel-, Spül- und Kontrollschachtes**, KAD Beselich, Deponieabschnitt BIII, Bauabschnitt BA3+4, Hermann Kirchner GmbH & Co. KG, Bauunternehmung, Bad Hersfeld, 27.September 2002 (unveröffentlicht)
- [2] **Stellungnahme zum Sondervorschlag Schrägschacht aus kunststofftechnischer Sicht**, Kreisabfalldeponie Beselich, Deponieabschnitt BIII, Bauabschnitte BA3 und BA4, Büro Dr. Knipschild, Rosengarten, 27. September 2002 (unveröffentlicht)
- [3] **Ergänzende geotechnische Beratung**, Kreisabfalldeponie Beselich BIII, BA3/4, Sondervorschlag Schrägstollen, Institut für Geotechnik Dr. Jochen Zirfas, Limburg, 04.Oktober 2002 (unveröffentlicht)
- [4] **Standicherheit des unteren Anschlusschachtes für den PEHD-Schrägstollen**, KAD Beselich, LGA Nürnberg, 30.Oktober 2002 (unveröffentlicht)
- [5] **Befahrbares Bauwerk aus PEHD unter der Deponiesohle**, Ph. Frank, Tagungsband 19. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Seite J1-10, 2003
- [6] **Standicherheit von PE-HD Rohren als Schrägschacht**, A. Stegner, Tagungsband 19. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Seite J11-28, 2003
- [7] **Gebrauchsmuster Nr. 203 03 892.4, Schachtanlage für Deponien**, Frank Deponietechnik GmbH, 61200 Wölfersheim, Deutschland, 2003.