

Forschungsvorhaben

Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien unter Berücksichtigung des statischen Berstens und des Kurzrohrberstlining

Untersuchung im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU)

LGA Bautechnik GmbH

Ein Unternehmen der LGA® - Körperschaft des öffentlichen Rechts

Institut für Statik

Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001/14001

Auftrag: Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien
unter Berücksichtigung des statischen Berstens und des Kurz-
rohrberstlining

Auftraggeber: Freistaat Bayern
vertreten durch das
Bayerische Landesamt für Umweltschutz
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Sachbearbeitung: LGA Bautechnik GmbH
Institut für Statik
Tillystraße 2
90431 Nürnberg
Herr Dipl.-Ing. Armin Stegner Tel. 0911 / 655 - 4843
Fax 0911 / 655 - 4851

Nürnberg, 03.07.2006

Inhaltsverzeichnis

- 1. Aufgabenstellung**
- 2. Dokumentation und wissenschaftliche Auswertung der verwendeten Literatur**
 - 2.1 Verwendete Literatur
 - 2.2 Wissenschaftliche Auwertung
- 3. Voraussetzungen unter denen die Arbeiten durchgeführt wurden**
- 4. Planung und Ablauf der Arbeiten**
 - 4.1 Allgemeines
 - 4.2 Planmäßig bearbeitete Baustellen
 - 4.3 Zusätzlich ausgewertete Baustellen
- 5. Zusammenstellung der Gesamtproblematik und bisher bekannt gewordene Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung**
 - 5.1 Berstlining – Verfahren allgemein und dynamisches Langrohrberstlining
 - 5.2 Statisches Berstlining
 - 5.3 Kurzrohrberstling
 - 5.4 Kombiniertes Verfahren
- 6. Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden**
 - 6.1 Deponie Gallenbach
 - 6.2 Deponie Medbach
 - 6.3 Deponie Titisee-Neustadt
 - 6.4 Deponie Am Lemberg
 - 6.5 Deponie Walleshausen
 - 6.6 Deponie Neunkirchen
 - 6.7 Weitere Deponiebaumaßnahmen
 - 6.8 Materialuntersuchungen
 - 6.9 Besonderheiten bei den statischen Berechnungen
- 7. Bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen**
 - 7.1 Allgemeines
 - 7.2 Material
 - 7.2.1 Materialbezeichnung
 - 7.2.2 Materialauswahl

8. Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihre praktische Anwendbarkeit

- 8.1 Riefen
- 8.2 Berstdaten und Berstverfahren
- 8.3 Berstvorgang
- 8.4 Kurzrohrberstlining / Biegeradien
- 8.5 Qualitätssicherung beim Berstlining auf Deponien
- 8.6 Material
- 8.7 Statische Berechnungen

9. Zusammenfassung

Datenblätter

Anlagen

Verzeichnis der Bilder, Tabellen und Anlagen

Seite**Bilder:**

Bild 1	Darstellung der verwendeten Bezeichnungen aus /8/	11
Bild 2	Prinzipskizze Langrohrberstlining	14
Bild 3	Prinzipskizze Statisches Berstlining	15
Bild 4	Prinzipskizze Kurzrohrberstlining (aus Unterlage Tracto Technik)	16
Bild 5	Deponie Medbach - Riefe vor dem Einziehen	18
Bild 6	Deponie Titisee-Neustadt - Geborgenes Rohrstück	19
Bild 7	Deponie Am Lemberg - Stark verfestigte Leitungszone in Lemberg	20
Bild 8	Deponie Walleshausen - Systemskizze Überschnitt	21
Bild 9	Deponie Kalbach - Durchberstete Manschetten	23
Bild 10	Materialproben nach der Untersuchung	25
Bild 11	FE Modell für ein Berstliningrohr	26
Bild 12	Verteilung der Vortriebsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Überdeckungshöhen	31
Bild 13	Statisch geberstetes Steinzeugrohr	34
Bild 14	Ebenerdiger Ansatz einer Berstrakete	
	Dynamisches Langrohr Berstlining auf der Deponie Oberostendorf	35
Bild 15	Ausführung Biegeradius	36
Bild 16	Enddeckel einer zugfesten Verbindung eines Rohrstranges beim Kurzrohrberstlining	38
Bild 17	FEM Berechnung Rohr mit Steinzeugrest - Spannungen im Steinzeugrohr	42

Tabellen:

Tabelle 1	Versuchsergebnisse Berstrohr	24
Tabelle 2	Versuchsergebnisse Neurohr	24
Tabelle 3	Erforderliche Standzeiten FNCT	28
Tabelle 4	Übersicht Berstmaßnahmen	30
Tabelle 5	Zulässige Zugkräfte nach /17/	33
Tabelle 6	Baugrubendurchmesser	35
Tabelle 7	Mindestbiegeradien für den Rohreinzug	35
Tabelle 8	Aushubmengen	36
Tabelle 9	FNCT Zeiten	40
Tabelle 10	Einbausituationen	41

Anlagen:

Deponie Gallenbach
Deponie Medbach
Deponie Titisee Neustadt
Deponie Lemberg
Deponie Walleshausen
Deponie Neunkirchen am Sand
Deponie Tuningen
Ergebnisse der Materialuntersuchungen

1. Aufgabenstellung

Viele deutsche Deponien befinden sich in einer Übergangsphase zur Stilllegung. Sie müssen in dieser Phase so ausgebaut werden, dass langfristig Gefährdungen, die vom Deponiestandort ausgehen, ausgeschlossen sind. Eine der Voraussetzungen um dies zu gewährleisten ist ein funktionstüchtiges und kontrollierbares Sickerwassererfassungs- und -ableitungssystem. Hierzu dienen Sickerwasserrohre, die auf der Sohle der Deponie zur Sammlung und Weiterleitung von schadstoffbelastetem Wasser verlegt werden.

Bei den Sickerwasserrohren treten in vielen Deponien Schäden auf. Zurückzuführen sind die Schäden meist auf eine zu schwache Dimensionierung der Rohre oder eine nachträgliche Umnutzung - Einbau von Abfallstoffen mit größerer Dichte oder Erhöhung der Abfallüberdeckung - der Deponie.

Das Berstlining-Verfahren stellt eine kostengünstige und umweltschonende Methode zur Sanierung solcher Rohrsysteme durch Erneuerung 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.

Der Aufwand an Aufgrabungen und Müllumlagerungen in Deponien und die damit verbundenen Emissionen werden so im Vergleich zu herkömmlichen offenen Verlegetechniken wesentlich gesenkt. Eventuell vorhandene Oberflächenabdichtungssysteme müssen nicht oder nur lokal begrenzt rückgebaut werden.

Da die eingesetzten Neurohre nicht den Altrohren entsprechen - zum augenblicklichen Zeitpunkt werden im Deponiebau ausschließlich PE-Rohre eingesetzt -, stimmen bei einer Rohrerneuerung mittels Berstlining der Außendurchmesser von Alt- und Neurohr nicht überein. Eine eindeutige Einbettungssituation in ein passgenaues Auflager und eine definierte seitliche Bettung können daher verfahrensbedingt nicht vorausgesetzt werden. Der Einziehvorgang kann ebenfalls Auswirkungen auf die Lage und Einbettung des Neurohres haben und führt zu verfahrensspezifischen Einwirkungen auf die Rohre.

Eine übliche rohrstatische Berechnung nach den anerkannten Regelwerken (z. B. ATV A/M127 /1/, /2/) setzt definierte Einbauverhältnisse voraus und kann deshalb bei den im Berstverfahren 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.

Im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU) wurde hierzu durch die LGA Bautechnik GmbH und das Ingenieurbüro Wölfel, Beratende Ingenieure, der Bericht „Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien“ mit Datum 06.09.2000 /6/ erstellt. Darin wurden die erforderlichen Vorarbeiten, die baubegleitenden Untersuchungen und die abschließenden Maßnahmen und Berechnungen für Rohrsanierungen nach dem Berstliningverfahren in Deponien festgelegt. Dies geschah indem

Sanierungsmaßnahmen vor Ort begleitet wurden und anschließend alle aufgenommenen Daten ausgewertet und rechnerisch bearbeitet wurden. Bearbeitet wurde das zum Zeitpunkt dieses 1. Berichtes in Deponien angewandte dynamische Berstlining.

Seit Fertigstellung dieses 1. Berichtes sind im Deponiebereich zwei für Planung, Ausführung und Bewertung des Verfahrens relevante Modifikationen bzw. Erweiterungen des angewandten Berstliningverfahrens zum Einsatz gekommen.

Beim **Kurzrohrberstlining** werden an Stelle eines auf die gesamte zu sanierende Länge vorab hergestellten Rohrstranges kurze Rohrstücke während des Einziehvorganges, der dafür jeweils kurz unterbrochen wird, hintereinander aufgefädelt. Dies hat den Vorteil, dass die Baugruben, deren Größe beim Langrohrberstlining maßgeblich durch den erforderlichen Biegeradius des Rohrstranges bestimmt wird, wesentlich kleiner ausgeführt werden können.

Neben dem bisher ausschließlich angewandten dynamischen Berstlining kommt auch **statisches Berstlining** bzw. eine **Kombination von statischem und dynamischem Berstlining** im Deponiebereich zum Einsatz. Beim statischen Berstlining wird die Vortriebsenergie als Zugkraft über ein Gestänge auf die Bersteinheit aufgebracht.

Die beiden beschriebenen Änderungen haben Auswirkungen auf die im oben genannten ersten Bericht erarbeiteten Aussagen. Zur Beurteilung solcher Auswirkungen wurden Berstmaßnahmen vor Ort aufgenommen und Materialuntersuchungen durchgeführt. Die bei den praktischen Untersuchungen gewonnenen Daten werden ausgewertet, ihr Einfluss auf die Bemessung der Rohre wird untersucht und bewertet.

Zusätzlich werden die im ersten Bericht beschriebenen Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Rohrauswechslungen mit dem Berstliningverfahren aktualisiert. Da mittlerweile eine bedeutend breitere Datenbasis durchgeführter Maßnahmen zur Verfügung steht, erfolgt unter Berücksichtigung dieser Erfahrungen eine Fortschreibung der Qualitätssicherungsmaßnahmen. Insbesondere wird der für die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse erstellte Fragebogen zur Baumaßnahme und zur Bauausführung erweitert. Neben der Aktualisierung der beiden vorhandenen Fragebogenteile zu Untersuchungen vor und nach der Baumaßnahme wird ein dritter Teil, der die Qualitätssicherung während der Bauausführung behandelt, neu hinzugefügt. Hierdurch sollen sowohl die Grundlagen für den planenden Ingenieur in der Ausschreibungsphase erweitert werden, als auch Überwachen und Genehmigungsbehörden eine Checkliste für die Baustelle zur Verfügung gestellt werden.

2. Dokumentation und wissenschaftliche Auswertung der verwendeten Literatur

2.1 Verwendete Literatur:

- /1/ ATV-Regelwerk-Abwasser-Abfall, Arbeitsblatt A 127, Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen, 3. Auflage August 2000
- /2/ ATV-Merkblatt M 127 Teil 1, Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien, März 1996
- /3/ G. Sonntag: Die Stabilität dünnwandiger Rohre im kohäsionslosen Kontinuum, Felsmechanik und Ingenieurgeologie Vol. 4/3, 1966, Springer Verlag
- /4/ Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien - Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme - Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 11/95
- /5/ ATV-Regelwerk-Abwasser-Abfall, Arbeitsblatt A 161, Statische Berechnung von Vortriebsrohren, Januar 1990
- /6/ Endbericht des Forschungsvorhabens „Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien“ LGA / IB Wolfel, Nürnberg, 06.09.2000
- /7/ Falk/Stein, Vorstellung eines bodenmechanischen Modells des dynamischen Berstverfahrens, TIS, Tiefbau, Ingenieurbau und Straßenbau, Nr. 6, 1995
- /8/ Erneuerung mit dem Berstverfahren, Bemessung, Prüfung, Qualitätssicherung von Abwasserrohren, IKT Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, November 2003
- /9/ Experimental and analytical modelling of pipebursting ground displacements, Chapman, Falk, Rogers, Trenchless Technologies Research, Vol. 11, No. 1 pp 53 - 68, 1996
- /10/ Hoch, A.: Statische Überlegungen und Berechnungen bei der Erneuerung und Sanierung von Abwasserkälen und -leitungen, Vortragsmanuskripte für das SKZ in Würzburg zur Fachtagungsreihe "Umweltschutz durch Kunststoffrohrsysteme in der Abwasserentsorgung für Neuverlegung und Sanierung" in den Jahren von 1990 - 1995.
- /11/ Hoch, A. Lottner, U., Zanzinger, H.: Statische Berechnung von Rohrleitungen in Sickerwasserentsorgungssystemen bei Abfalldeponien, Müll und Abfall, 1 (1993).
- /12/ Hoch, A., Stegner, A.: Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien, TIS, Tiefbau, Ingenieurbau und Straßenbau, Nr. 12, Dezember 1998
- /13/ Lörcher, R., Stegner, A.: Einsatz der Finite-Elemente-Methode bei Kanalsanierungen, TIS, Tiefbau, Ingenieurbau und Straßenbau, Nr. 2, Februar 1996
- /14/ Instandhaltung von Deponieentwässerungsleitungen, GSTT Informationen Nr. 9, 1. Auflage vom April 1999, German Society for Trenchless Technology e.V., Hamburg

- /15/ DVS Richtlinie 2205 - 1. April 2002, Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten Kennwerte
- /16/ DVS Richtlinie 2202 - 12.89, Fehler an Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen
- /17/ DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 143-15, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 15 - Erneuerung von Abwasserleitungen und -kanälen durch Berstverfahren, Entwurf Januar 2005, DWA Hennef
- /18/ DIN 8074 / 8075 Rohre aus Polyethylen (PE) Maße Deutsche Norm, August 1999
- /19/ DIN 8074 / 8075 Rohre aus Polyethylen (PE) Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen Deutsche Norm, August 1999
- /20/ 21. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Tagungsband des SKZ, 10.-11. Februar 2005
- /21/ DVS 2203 Teil 4 Beiblatt 2 - Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zeitstandszugversuch - Prüfen des Widerstandes gegen langsames Risswachstum im Full-Notch-Creep-Test (FNCT), Taschenbuch DVS-Merkblätter und Richtlinien - Fügen von Kunststoffen, DVS Verlag GmbH, Düsseldorf, 2003
- /22/ Minimum service-life of buried polyethylen pipes without sand-embedding, Dr.-Ing. Joachim Hessel, aus 3R International 40(2001) Special Plastic Pipe, pages 4 - 12
- /23/ Grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining, Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung, Technische Mitteilung Merkblatt GW 323, DVGW Regelwerk, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, Juli 2004
- /24/ Zulassungsgrundsätze für Formmassen aus Polyethylen PE 63, PE 80, PE 100), Stand Dezember 2004, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin
- /25/ ATV-Regelwerk-Abwasser-Abfall, Merkblatt M 143, Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen, Dezember 1989
- /26/ DIN 4266 - Sickerrohre für Deponien aus PVC-U, PE-HD und PP - Anforderungen, Prüfungen und Überwachung, Januar 1992

2.2 Wissenschaftliche Auswertung

In den Unterlagen /1/-/5/ werden die aktuellen Berechnungsstandards für Rohre nach analytischen Modellen festgeschrieben. /1/ enthält einen allgemeinen analytischen Berechnungsweg zur Bemessung von Abwasserrohren, der in /2/ für Deponierohre anwendbar modifiziert wird. /4/ enthält zusätzlich Angaben zur Anwendung der „Finiten Element Methode“ (FEM) bei der Berechnung von Deponierohren. /5/ gilt für die Berechnung von Vortriebsrohren. Die Berücksichtigung einer vom vorgesehenen „üblichen“ Rohreinbau (für Deponierohre z. B. nach DIN 19667) abweichenden Rohrverlegetechnik in der statischen Berechnung erfolgt in /6/. Die Unterlage /6/ bildet die Grundlage dieses Berichtes. Wesentliche Grundlagen und Ergebnisse daraus werden teilweise auch in diesen Bericht aufgenommen.

Die Unterlagen /7-/9/ behandeln Versuche und deren Auswertung zum Thema Berstlining im kommunalen Abwasserbereich. Unterlage /7/ stellt experimentelle und theoretische Ergebnisse zu mittels dynamischem Berstlining verlegten Rohrleitungen vor. Die Verlegung erfolgte in eng gestuftem Mittel- bis Grobsand. Für dieses Bettungsmaterial wurde die Spannungsverteilung während des Berstvorganges untersucht. Demgemäß erfolgt nach der Bodenverdrängung durch den Überschnitt eine Rückverformung des Bodens in den entstandenen Hohlraum hinein, die deutlich geringer als der Überschnitt ist. Im verbleibenden Hohlraum kann das neue Rohr eingezogen werden. Als Einflüsse für die Dauer der weiteren Rückverformung bis zum Anliegen des Bodens am neuen Rohr werden Grundwasser und dynamische Verkehrslasten angegeben. Auch nach dem Zusammenbruch des temporären Hohlraumes (Überschnitt) verbleibt unter bestimmten Voraussetzungen ein tragendes Gewölbe im Boden, das zu einer Verminderung der auf das neue Rohr wirkenden Lasten führt. Mehrbelastungen auf das neue Rohr entstehen durch verbleibende Scherben. Die Summe der Spannungen aus den Umlagerungen und Scherbeneinfluss wird als kleiner als in der Mindestbemessung nach Unterlage /5/ gefordert angegeben. In Unterlage /8/ wurden im Rahmen eines Forschungsvorhabens „statische Berechnung, Rohrauswahl sowie Zulassung und Überwachung im Zusammenhang mit dem Einsatz des Berstverfahrens“ untersucht. Es wurden experimentelle und rechnerische Untersuchungen durchgeführt. Die dokumentierten Ergebnisse gelten für - nach Deponiemaßstab - sehr geringe Überdeckungshöhen und berücksichtigen demgemäß den Einfluss von dynamischen Verkehrslasten auf der Oberfläche. Es wird festgestellt, dass die Parameter Innendurchmesser Altrohr, Außendurchmesser Neurohr, Überschnitt und Überdeckungshöhe Einfluss auf die Erddruckbelastung des Neurohres haben. Demgemäß steigt der Erddruck mit einem Anwachsen des Verhältnisses Innendurchmesser Altrohr zu Überschnitt an. In Unterlage /9/ wird die Auswirkung von Berstliningmaßnahmen auf umliegende Versorgungsleitungen untersucht. Zur Bestimmung der Bodenverformungen wird der Boden mittels einer Fließtheorie für Flüssigkeiten beschrieben. Gleichzeitig erfolgten experimentelle Untersuchungen. Die Untersuchungen erfolgten für sehr geringe Überdeckungshöhen (<1,00 m) in Sand. Die Lagerungsdichte des Sandes hat einen deutlichen Einfluss auf die Ergebnisse.

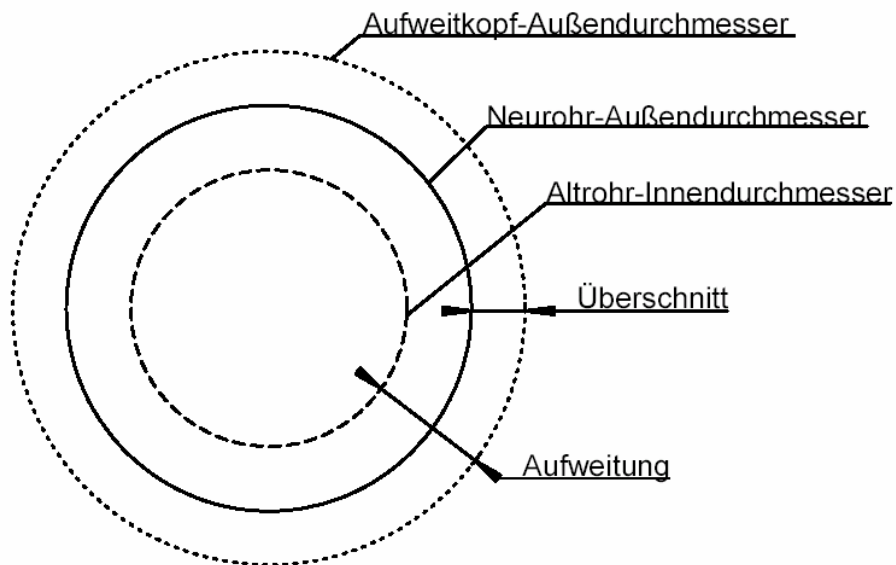


Bild 1 Darstellung der verwendeten Bezeichnungen aus /8/

Eine direkte Übertragbarkeit der Ergebnisse von /7- /9/ auf den Deponiebereich kann jedoch nicht angenommen werden, da die deponietypischen Merkmale der Auflagerung auf einem bindigen Auflagermaterial, der Einbettung in Kies sowie der Überdeckung mit einer federnden Müllunterfläche nicht gegeben sind, aber entscheidenden Einfluss auf den entstehenden Rohreinbau ausüben. Die Ergebnisse werden im Folgenden als allgemeine Daten zum Berstlining behandelt. Da Erkenntnisse zum Berstlining verfahrensbedingt nur durch Versuche und spezielle Untersuchungen sowie in Schadensfällen erreichbar sind, muss es ein Ziel von jeder Untersuchung zu diesem Sanierungsverfahren sein auf der breitest möglichen Datenbasis aufzubauen.

Die Unterlagen /10/ - /13/ sind hier beispielhaft angegeben. Für die verschiedenen Sanierungsverfahren existiert eine sehr große Anzahl von Veröffentlichungen, die jedoch nicht den Deponiebereich betreffen. Die in Deponien angewandten Verfahren sind in /14/ unter Angabe ihrer Einsatzhäufigkeit technisch beschrieben (aktueller Stand: 1999, wird zur Zeit überarbeitet). /15/ und /16/ enthalten materialspezifische Angaben zu thermoplastischen Kunststoffen, zusätzliche Angaben zu Materialdaten finden sich in /1/ und /4/.

Der DWA Entwurf M 143-15 (Unterlage /17/) fasst die Grundlagen der Rohrerneuerung im Berstverfahren im kommunalen Bereich zusammen. Deponiespezifische Probleme sind nicht enthalten.

Die beim Berstlining in Deponien eingesetzten Rohre sind in /18/ und /19/ genormt. In /20/ werden im Vortragstext von Frank Schäden an solchen PE-Rohren und deren materialbedingte Ursachen beschrieben. Hierbei wird insbesondere auf Untersuchungen in /22/ zur Lebensdauer von Polyethylen Rohren, die nicht konventionell (sondern grabenlos eingepflügt) in einem steinfreien Bodenmaterial verlegt werden, eingegangen. Die Beurteilung erfolgt durch vergleichende Untersuchungen mittels FNCT (Full Notch Creep Test /21/). Bei diesem Test werden Rohre planmäßig mit einer Schädigung versehen und durch einen Zeitstandzugversuch getestet. Der Versuch wird für verschiedene Spannungsniveaus durchgeführt. Als Ergebnis liegt eine Tabelle vor, die für die

unterschiedlichen Spannungsniveaus in Abhängigkeit vom erforderlichen Sicherheitsbeiwert Mindeststandzeiten angibt. Mindeststandzeiten im FNCT für extrudierte Rohre gibt Unterlage /24/ vor. Hier werden Mindeststandzeiten von ≥ 100 h für PE 80 und ≥ 300 h für PE 100 gefordert. Im Gegensatz zu diesen Werten, die für „übliche“ Rohrverlegetechniken gelten, gibt Unterlage /23/ für die Anwendung bei Berstliningmaßnahmen deutlich höhere Mindeststandzeiten vor. Für den Einsatz als Gasrohr werden 3300 h, für den Einsatz als Wasserrohr 2700 h, für PE 100 gefordert. Rohre aus PE 80 Grundmaterial sind gemäß /23/ nicht zulässig.

3. Voraussetzungen unter denen die Arbeiten durchgeführt wurden

Voraussetzung für die Untersuchungen ist die Begleitung aktueller Sanierungsmaßnahmen auf Deponien. Die LGA Bautechnik GmbH bearbeitet seit vielen Jahren regelmäßig Deponiebauwerke als Prüfstatiker, Fremdüberwacher und Gutachter im Deponiebau. Diese Arbeiten werden ergänzt durch Baugrund- bzw. Abfalluntersuchungen, die das Grundbauinstitut der LGA Bautechnik GmbH durchführt. Materialuntersuchungen an Kunststoffen erfolgen durch die LGA Bautechnik GmbH oder qualifizierte, zertifizierte Unternehmen, die ebenfalls große Erfahrung in der Bearbeitung von kunststofftechnischen Fragen aufweisen.

Durch enge Zusammenarbeit mit den planenden Ingenieurbüros und den ausführenden Firmen werden wertvolle Informationen gewonnen und können aktuell zeitnah in die Bearbeitung aufgenommen werden. Dies ist im Zuge einer kontinuierlich fortschreitenden Entwicklung der Berstlining Techniken von großem Vorteil.

Die statischen Berechnungen erfolgen mit Finiten Element Programmen. Sie gewährleisten, dass die komplexen mechanischen Eigenschaften und Geometrien der verschiedenen Einbausituationen, die beim Berstlining entstehen, rechnerisch erfasst werden können.

4. Planung und Ablauf der Arbeiten

4.1 Allgemeines

Grundlage der Arbeiten ist der Bericht „Bemessung von Rohren beim Berstliningverfahren in Deponien“ /6/. Die verfügbare Literatur zu Untersuchungen bei Berstliningmaßnahmen wird gesichtet. Aufbauend auf /6/ werden baubegleitend Daten, die geeignet sind die Einflüsse der neuen Berstverfahren aufzuzeigen, gesammelt und bewertet.

Theoretische Untersuchungen werden in Form von statischen Berechnungen der Berstrohre für Bau- und Endzustand durchgeführt. Die durchgeführten Berechnungen bauen auf den Grundlagen in /6/ auf. In diesem Bericht erfolgt im Wesentlichen die Bewertung der Unterschiede, die sich durch die neuen Verfahren für die Berechnungen im Bauzustand ergeben.

Neuere Untersuchungen von Eigenschaften an modernen PE Materialien werden hinsichtlich der Übertragbarkeit bewertet und die relevanten Bestandteile werden in die Anforderungen an Rohrmaterialien für Berstliningmaßnahmen im Deponiebau aufgenommen.

Maßnahmen zur Sicherstellung einer dokumentierten hohen Qualität einer Baumaßnahme werden beschrieben und in einem tabellarisch aufgebauten Fragebogen für die Bewertung vor Ort auf einer Deponiebaustelle zusammengefasst.

4.2 Planmäßig bearbeitete Baustellen

Auf den Deponien Gallenbach, Medbach, Titisee-Neustadt, Am Lemberg und Neunkirchen wurden Berstliningmaßnahmen vor Ort aufgenommen.

Auf den Deponien Walleshausen - Landkreis Landsberg am Lech - und Herzogenaurach - Zweckverband Abfallwirtschaft Stadt Erlangen, Landkreis Erlangen Höchststadt - wurden während des Bearbeitungszeitraumes dieses Berichtes Berstliningmaßnahmen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Maßnahmen werden in den Bericht einbezogen.

Auf den Deponien Titisee-Neustadt und Neunkirchen wurden eingezogene Rohre nach dem Berstvorgang wieder geborgen und ihre Materialeigenschaften im Labor ermittelt und mit den Materialeigenschaften nicht benutzter Rohre des gleichen Materiales und der gleichen Herstellungsart verglichen.

Auf der Deponie Gallenbach wurde mit einer Ausnahme die kombinierte Methode aus statischem und dynamischem Berstlining angewandt. Auf der Deponie Am Lemberg wurde neben der kombinierten Methode auch rein dynamisches Berstlining eingesetzt. Auf den Deponien Medbach und Titisee-Neustadt wurde statisches Berstlining für die Haltungsanfänge eingesetzt, im Verlauf des Berstvorganges wurde dann die dynamische Einheit zugeschaltet.

Kurzrohrberstlining kam auf den Deponien Gallenbach und Am Lemberg zum Einsatz.

4.3 Zusätzlich ausgewertete Baustellen

Aus den oben genannten für diesen Bericht vorgesehenen Baumaßnahmen fanden weitere Baumaßnahmen im Bearbeitungszeitraum statt. Wichtige Ergebnisse dieser Maßnahmen werden für diesen Bericht verwendet.

Direkt im Anschluss an die Baumaßnahmen in Neunkirchen wurde eine sehr ähnliche Maßnahme in Herzogenaurach durchgeführt. Die ausführende Firma, die Einbautiefen, das Berstverfahren, die Rohrdurchmesser und die maximale Berstlänge lagen bei den beiden Rohrerneuerungen in denselben Größenordnungen.

Auf der Deponie Kalbach wurde eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt, bei der eine vielfach mit Stahlmanschetten teilsanierte Rohrleitung ausgewechselt wurde.

5. Zusammenstellung der Gesamtsystemproblematik und bisher bekannt gewordene Ergebnisse auf dem Gebiet der Aufgabenstellung

5.1 Berstlining - Verfahren allgemein und dynamisches Langrohrberstlining

Beim Berstlining in Deponien wird mittels einer Unterbodenrakete das Altrohr zerstört und im gleichen Arbeitsgang ein Neurohr an Stelle des zerstörten Rohres eingezogen. Die neuen Rohre sind zur Zeit ausschließlich PE Rohre. Geberstet als Altrohr wurden mittlerweile alle im Deponiebereich normalerweise verwendeten Rohrmaterialien - Steinzeug, PVC und PE. Während als neue Rohre durchgehend Vollwandrohre zum Einsatz kommen, wurden sowohl Vollwandrohre als auch Rohre mit profilierten Wandungen geberstet. Beim Langrohrberstlining wird hierfür vorab durch Schweißung ein Rohrstrang hergestellt, der die Länge der zu sanierenden Haltung hat. Das Einziehen kann in günstigen Fällen vom Deponierand aus erfolgen, in den weitaus meisten Fällen wird jedoch eine Baugrube im Müll erstellt, um von der Deponieoberfläche aus einzuziehen. Schematisch ist diese Verfahrensvariante in Bild **Prinzipskizze Langrohrberstlining** dargestellt. Die Skizze zeigt, dass der Rohrstrang an der Oberfläche und auf der Deponiesohle gebogen werden muss. Hierbei müssen die zulässigen Biegeradien eingehalten werden. Angaben zu den Radien enthalten /6/ und die Unterlagen der Rohrhersteller.

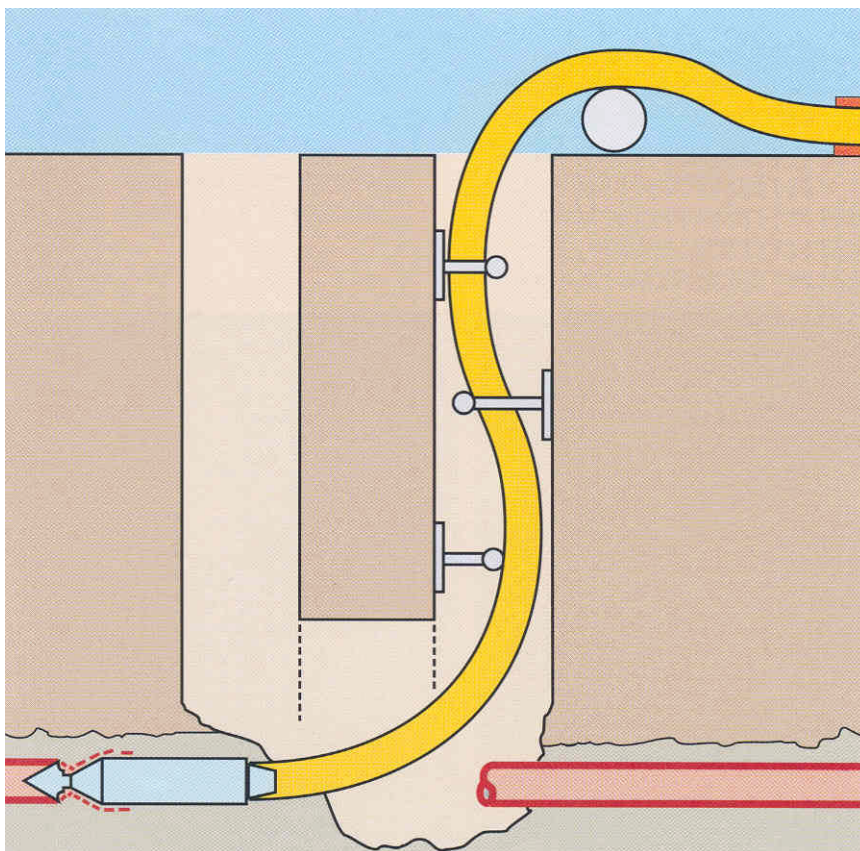


Bild 2 Prinzipskizze Langrohrberstlining

Die Berstrakete wird beim dynamischen Berstlining durch Schlagenergie vorangetrieben. Um die Richtung gezielt beibehalten zu können hängt die Rakete an einem Zugseil, dass während des Einziehvorganges mittels einer Winde unter einer kontinuierlichen Spannung gehalten wird. Hierfür ist die Durchgängigkeit der alten Leitung erforderlich. Teil der Berstrakete ist ein Aufweitkörper, der einen größeren Durchmesser als das Neurohr hat. Dadurch stellt dieser Aufweitkörper durch Verdrängung des Bodens einen temporären Hohlraum um das Rohr her, in den das Neurohr eingezogen wird. Eine genauere Verfahrensbeschreibung wird in Unterlage /6/ gegeben.

5.2 Statisches Berstlining

Beim statischen Berstlining ersetzt ein Zugkopf, der an einem Gestängezug hängt, die Berstrakete. Der Vortrieb der Berstrakete erfolgt beim dynamischen Berstlining aus der Rakete selbst durch Schlagenergie. Das Zugseil dient lediglich zur Sicherstellung der Richtung. Beim statischen Bersten wird an Stelle des Zugseiles ein Gestänge vorne am Berstkopf (entsprechend der Berstrakete) angebracht von dem der Rohrstrang gezogen wird. Der Berstkopf hat keinen eigenen Antrieb und ist daher kleiner als die Berstrakete beim dynamischen Bersten. Die Zugkraft wird mittels einer Zugmaschine erzeugt und über das Gestänge und den Zugkopf auf den Rohrstrang übertragen.

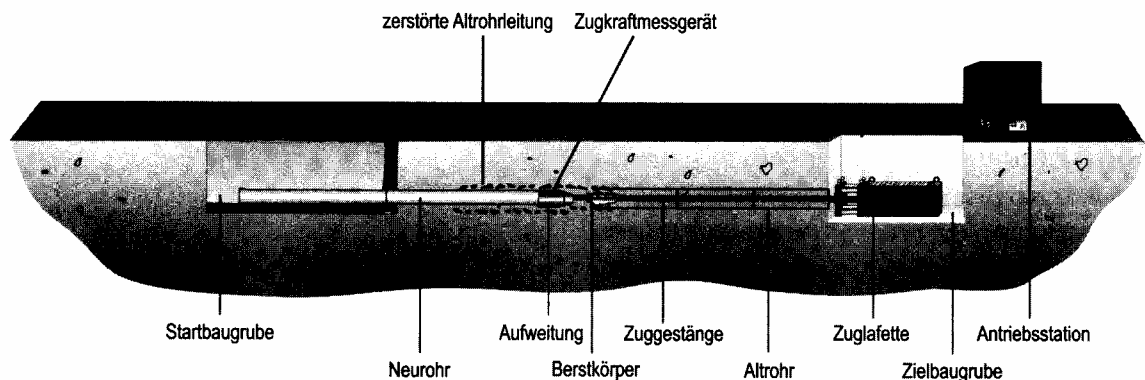


Bild 3 Prinzipskizze Statisches Berstlining

5.3 Kurzrohrberstlining

Das Kurzrohrberstlining entstand als Versuch die zeit-, kosten- und emissionsaufwändigen Baugruben im Abfall zu minimieren. Beim vorher im Deponiebau ausschließlich angewendeten Langrohrberstlining wird der einzuziehende Rohrstrang senkrecht in einer Baugrube zur Deponiesohle geführt. Dort muss er wieder in eine waagrechte Lage überführt werden. Dies erfordert die Einhaltung von zulässigen Mindestbiegeradien der Rohre, durch die die Größe der erforderlichen Baugrube maßgeblich bestimmt wird. Anzahl und Größe der erforderlichen Baugruben bilden dabei einen wesentlichen Faktor für Kosten und Emissionen durch Aufgrabung. Beim Kurzrohrberstlining werden an Stelle des vorab verschweißten Rohrstranges einzelne Rohre, die zwischen 0,80 - 1,20 m lang

sind, nacheinander während des Einziehvorganges miteinander verbunden. Ist ein Einzelrohr eingezogen, wird der Berstvorgang unterbrochen, ein weiteres Rohr an den Strang angefügt und der Berstvorgang wieder fortgeführt. Im Idealfall können Rohrlängen der Einzelrohre gewählt werden, die ein Bersten aus bestehenden Deponieschächten erlauben, so dass auf Baugruben verzichtet werden kann.

Für den Vortrieb kommt in der Regel das in Bild 4 dargestellte statische Berstlining zum Einsatz.

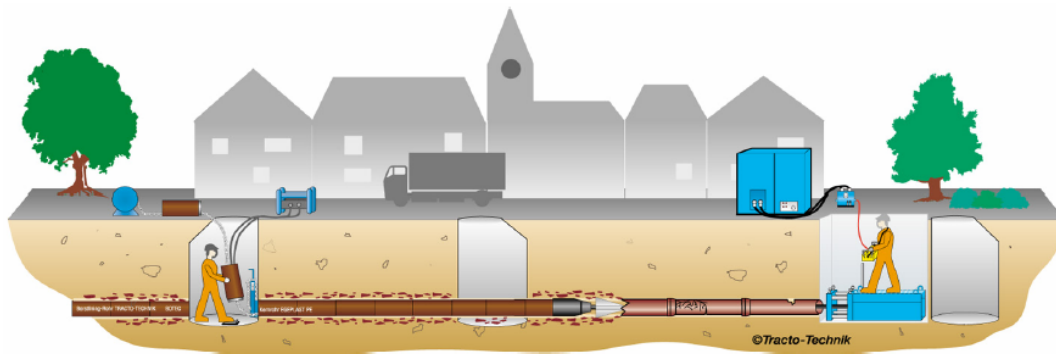


Bild 4 Prinzipskizze Kurzrohrberstlining (aus Unterlage Tracto Technik)

5.4 Kombiniertes Verfahren

Das statische und das dynamische Berstlining können gleichzeitig eingesetzt werden. Hierzu wird eine dynamische Berstrakete zusätzlich über ein Gestänge mit einer Zugmaschine verbunden. Die Vorteile beider Verfahren können auf diese Weise vereinigt eingesetzt werden. Eine Schwierigkeit dabei ist, dass die Einzelstangen des Gestänges ineinander eingehängt werden, jedoch nicht fest verbunden sind. Es muss hier Sorge getragen werden, dass das Gestänge kontinuierlich während der Schläge der dynamischen Bersteinheit unter Zug steht. Dies ist erforderlich um ein Aushaken und damit den Ausfall des Gestänges zu verhindern. Da das Gestänge auch das Zugseil zur Richtungssicherung der Rakete ersetzt, kann ohne wirksames Gestänge beim kombinierten Verfahren nicht zielsicher gearbeitet werden.

6. Angewandte wissenschaftliche und technische Methoden

Die Bearbeitung erfolgt in einer Kombination aus praktischen Untersuchungen und theoretischer Bearbeitung. Die praktischen Untersuchungen setzen sich aus der Aufnahme der Grundlagen und der Begleitung der Sanierungsmaßnahme vor Ort zusammen. Soweit möglich erfolgen Aufnahmen der nach dem Einziehen entstehenden neuen Rohrleitungszone und vergleichende materialtechnische Untersuchungen an neuen und eingezogenen Rohren. Die theoretischen Untersuchungen setzen sich aus statischen Vorberechnungen für die Sanierungsmaßnahmen und deren nachträglicher Überprüfung unter Ansatz der praktisch ermittelten Daten zusammen. Alle gewonnenen Daten zu Materialfragen werden ausgewertet und in die Anforderungen an PE-Materialien von Berstrohrren einbezogen. Für die vorgesehenen praktischen Untersuchungen wurden sechs Deponiebaustellen ausgewählt. Zusätzlich wurden Daten aus weiteren Deponiebaumaßnahmen, die während des Bearbeitungszeitraumes statt fanden, einbezogen.

6.1 Deponie Gallenbach

Auf der Deponie Gallenbach bei Augsburg wurden im Sommer 2002 bestehende Sickerwasserstränge aus PE Rohren SDR 17 saniert. Diese Rohre waren nach dem heutigen Stand der Technik statisch nicht ausreichend bemessen und wiesen Schäden insbesondere in den Schachtbereichen auf.

Die Sanierung erfolgte dabei durch ein kombiniertes statisches und dynamisches Berstverfahren mit PE-Rohren mit Außendurchmesser 280 mm, SDR 7,4. Es kam mit Ausnahme einer Haltung Kurzrohrberstlining zum Einsatz. Dies hatte zur Folge, dass planmäßig nur an zwei Stellen, an denen die vorhandene Leitung ihre Richtung änderte, Baugruben vorgesehen waren.

Aus statischer und ausführungstechnischer Sicht ist hervorzuheben, dass keine großen Berstlängen erreicht wurden. In vier Fällen blieb die Berstrakete vor dem Ziel unter dem Abfallkörper stecken. Von diesen vier Fällen konnten zwei - ein Hindernis in Form eines einbetonierten Abzweiges des Altrohres und ein verdrehter Luftschlauch - eindeutigen Ursachen zugeordnet werden. In einem weiteren Fall lag ein Zusammentreffen mehrerer Ursachen vor, in einem Fall konnte kein Hindernis gefunden werden. Die Überdeckungshöhe von 30 m und mehr sowie der Einsatz des Kurzrohrberstlining waren dabei die auffälligen Unterschiede zu den erfolgreich sanierten Deponien Medbach, Titisee-Neustadt und Neunkirchen.

Die Berstrakete musste in einem Fall wegen Personalmangels - der Berstvorgang dauerte hier wesentlich länger als vorab geschätzt - abgestellt werden. Das Wiederauffahren misslang. Die Berstrakete stellt einen Hohlraum bzw. aufgelockerten Bereich - den Überschnitt - her, in dem das Rohr eingezogen wird. Dieser Überschnitt ist nur temporär vorhanden und wird durch den Druck der Auflast wieder verfestigt. Ein späteres Fortsetzen des Berstlining nach einer Stillstandszeit muss daher insbesondere unter hohen Überdeckungshöhen als extrem ungünstig betrachtet werden.

6.2 Deponie Medbach

Auf der Deponie Medbach der Landkreise Erlangen / Erlangen-Höchstadt wurden im Sommer 2002 vier bestehende Sickerwasserstränge aus Steinzeugrohren saniert. Diese Rohre waren nach dem heutigen Stand der Technik statisch nicht ausreichend bemessen und wiesen vielfältige Schäden - Risse, Scherbenbildung, Lageabweichungen - auf.

Die Sanierung erfolgte dabei durch ein kombiniertes statisches und dynamisches Berstverfahren mit PE Rohren mit Außendurchmesser 355 mm, SDR 7,4. Es kam Langrohrberstlining zum Einsatz. Die Berstvorgänge konnten teilweise vom Deponierand ebenerdig angesetzt werden, ansonsten erfolgte der Start aus Spritzbetonbaugruben.



Bild 5 Deponie Medbach - Riefe vor dem Einziehen

Aus statischer und ausführungstechnischer Sicht waren als Besonderheiten sehr deutliche Riefen in den Rohren auffällig. Diese Riefen entstanden nicht während der Berstvorgänge, die erfolgreich verliefen, sondern schon vor Beginn durch den Transport über die Baustelle. Diese Riefen wurden in den statischen Berechnungen der Rohre berücksichtigt. Ihr statischer Einfluss wird als eine Grundlage zur Beurteilung zulässiger Vorschäden herangezogen.

Im Zuge der Baumaßnahme wurde ein geberstetes Steinzeugrohr nach dem Berstvorgang freigelegt. Im freigelegten Anfangsbereich war statisches Berstlining eingesetzt worden, die dynamische Einheit wurde erst nach dem Durchfahren des Randbereiches zugeschaltet. Die Freilegung zeigte, dass die Steinzeugscherben des Altrohres radial um das Neurohr anlagen. Im Gegensatz zu den Scherben beim dynamischen Bersten, die gemäß den Ergebnissen „pulverisiert“ wurden, waren flächige Steinzeugscherben vorhanden. Bild 13 zeigt die vorgefundene Situation.

6.3 Deponie Titisee-Neustadt

Auf der im südlichen Schwarzwald gelegenen Deponie Titisee-Neustadt des Landkreises Breisgau – Hochschwarzwald wurde im September 2003 ein bestehendes Sickerwassersystem aus Steinzeugrohren saniert. Diese Rohre waren nach dem heutigen Stand der Technik statisch nicht ausreichend bemessen und wiesen Schäden auf. Insbesondere in Schachtbereichen waren deutliche Setzungen aufgetreten. Es kam Langrohrberstlining zum Einsatz. Das Bersten erfolgte aus Spritzbetonbaugruben.

Die Sanierung erfolgte dabei durch ein kombiniertes statisches und dynamisches Berstverfahren mit PE Rohren mit Außendurchmesser 280 mm, SDR 7,4. Die Dichtungsschicht besteht aus Ton, der in verschiedenen Schichtdicken angetroffen wurde. Eine Überdeckung der Rohre mit Filterkies war vorhanden, sie hatte jedoch unterschiedliche Abmessungen. Beispielsweise wurde im Bereich eines Schachtes (K4) ein über deutlich mehr als 180° in Ton gebettetes Steinzeugrohr, über dem ca. 20 – 30 cm Kies lagen, vorgefunden. Die Toneinbettung an den anderen einsichtigen Stellen war wesentlich geringer. Insgesamt kann keine einheitliche Einbettungssituation angegeben werden.

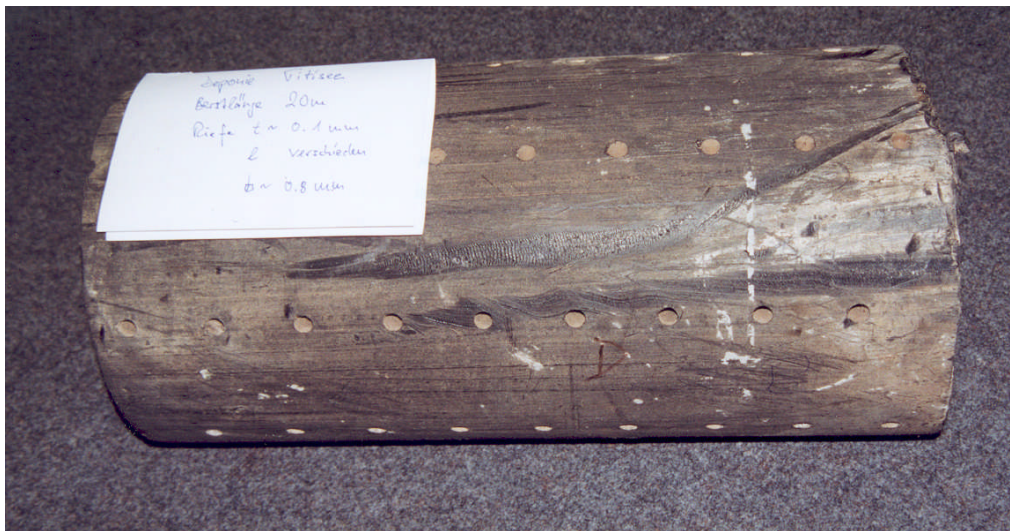


Bild 6 Deponie Titisee-Neustadt - Geborgenes Rohrstück

Das Zuggestänge konnte ohne Schwierigkeiten durch die vorhandenen Steinzeugrohre DN 250 geführt werden. Saniert wurden zwei Haltungen im Berstverfahren, in einer weiteren Haltung erfolgte eine Teilsanierung durch Partliner. Geberstet wurde von einer Mittelbaugrube mit einem Durchmesser von 5,80 m in Richtung auf die beiden bestehenden Deponieschächte. Vor diesen Stahlbetonschächten wurden jeweils Zielbaugruben mit ca. 5,00 m Durchmesser erstellt. Der Berstvorgang wurde in beiden Haltungen mit statischem Bersten (Zugkraft 70 – 80 to) begonnen, jedoch wurde nach kurzem Anziehen die dynamische Bersteinheit dazugeschaltet. Bei der ersten, 24 m langen Haltung wurde ein Zug von ca. 30 to über das Gestänge auf die Rakete aufgebracht. Die Zugkraft sollte nicht zu einem schnelleren Einziehen führen, sondern diente dazu das Gestänge unter kontinuierlichem Zug zu halten. Dieser Berstvorgang dauerte 1 h 15'. Bei der zweiten, 60 m langen Haltung wurde ein Zug von ca. 40 to über das Gestänge auf die Rakete aufgebracht. Dies führte zu einem schnelleren Einziehen, so dass dieser Berstvorgang 2 h 5' dauerte. Eingezogen wurden in beiden Fällen vorgeschweißte Rohrstränge (Langrohrberstlining). Die Berstvorgänge wurden beobachtet und protokolliert.

6.4 Deponie Am Lemberg

Auf der Deponie Am Lemberg des Landkreises Ludwigsburg wurden in den Jahren 2003 und 2004 bestehende Sickerwasserstränge aus Steinzeugrohren saniert. Diese Rohre waren nach dem heutigen Stand der Technik statisch nicht ausreichend bemessen und wiesen Schäden auf. Das Bersten erfolgte aus Spritzbetonbaugruben.

Die Sanierung erfolgte dabei durch ein kombiniertes statisches und dynamisches Berstverfahren und durch dynamisches Berstlining mit PE Rohren mit Außendurchmesser 280 mm, SDR 7,4. Es kam Langrohr- und Kurzrohrberstlining zum Einsatz.



Bild 7 Deponie Am Lemberg - Stark verfestigte Leitungszone in Lemberg

Aus statischer und ausführungstechnischer Sicht war auffällig, dass in einem Umkreis von ca. 30 m durchgeführte Berstmaßnahmen in höchstem Maße unterschiedliche Ergebnisse hatten. Während ein mit dem kombinierten Verfahren durchgeführter Sanierungsversuch nach nur 2,00 m erfolglos endete, konnten bei einer direkt daneben liegenden Leitung mittels dynamischem Berstlining 38 m in ca. 3 Stunden erfolgreich saniert werden. Auf dieser Deponie lag eine stark verfestigte Kiesrigole vor. Im Bereich der erfolglosen Berstmaßnahme wurden Bauschuttreste über der Leitungszone vorgefunden. Die Übereckung mit Abfall betrug im beschriebenen Bereich ca. 30,0 m.

6.5 Deponie Walleshausen

Auf der Deponie Walleshausen des Landkreises Landsberg am Lech wurde am 16.03.2005 ein bestehender Sickerwasserstrang saniert. Ein defektes PVC Rohr Rau-drill DN 150 wurde durch ein PE Rohr Da 160 mm ersetzt. Die PVC-Rohre waren nach dem heutigen Stand der Technik statisch nicht ausreichend bemessen und wiesen Schäden auf.

Die Sanierung erfolgte dabei durch dynamisches Berstlining mit PE Rohren mit Außendurchmesser 160 mm, SDR 7,4. Es kam Langrohrberstlining zum Einsatz. Die Berstrakete konnte am Deponierand ebenerdig angesetzt werden.

Aus statischer und ausführungstechnischer Sicht war als Besonderheit das sehr große Verhältnis der Durchmesser von Aufweitkörper und Rohraußendurchmesser bemerkenswert:

$$\begin{aligned} r_{a,\text{Aufweitkörper}} &= 170 \text{ mm} \\ r_{a,\text{Neurohr}} &= 80 \text{ mm} \\ \text{Überschnitt} &= 90 \text{ mm} \\ D_{\text{Aufweitung}} / D_{\text{Rohr}} &= 340 / 160 = 2,1 \end{aligned}$$

Als ein ‚üblicher‘ Wert kann $340 / 280 = 1,2$ angesehen werden.

Bild 8 zeigt die ursprüngliche Einbausituation in die zur Verdeutlichung der Größenverhältnisse die Außendurchmesser von Neurohr und Aufweitkörper einskizziert sind.

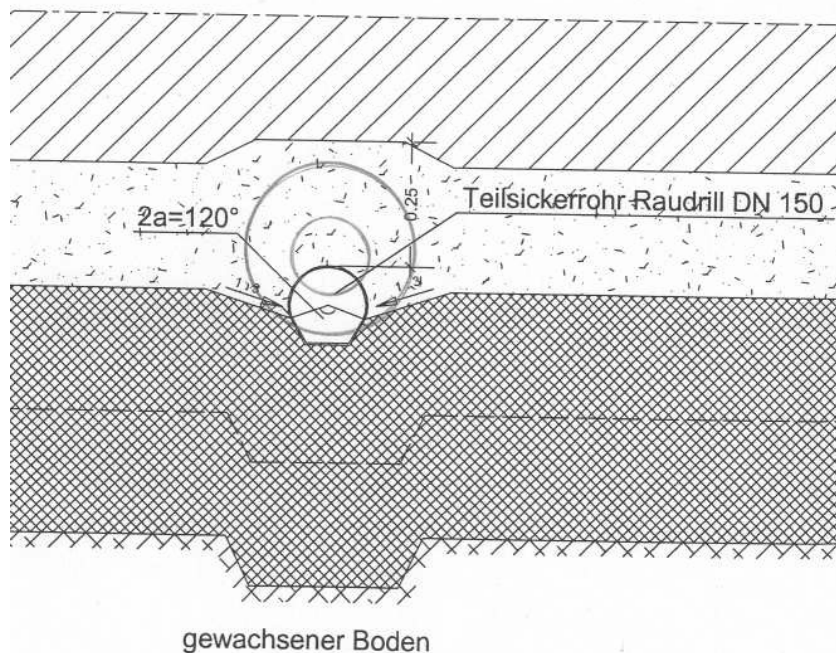


Bild 8 Deponie Walleshausen - Systemskizze Überschnitt

Bedingt durch diese im Vergleich zum Rohraußendurchmesser große Aufweitung beim Einziehen sind Senkungen, das heißt Unregelmäßigkeiten in der Rohrtrasse aufgetreten. Trotz des positiven Effektes, dass die Mantelreibungskräfte auf das Rohr – damit einhergehend auch die Gefahr von Riefen oder anderen Materialschädigungen beim Einziehvorgang - minimiert werden, wird durch diese Vorgehensweise die Bettung mangelhaft ausgeführt. Dies betrifft die Lage des neuen Rohres und die statische Funktion von Bettung und Auflagerung.

6.6 Deponie Neunkirchen

Auf der Deponie Neunkirchen des Landkreises Nürnberger Land wurden im Jahr 2004 bestehende Sickerwasserstränge aus Steinzeugrohren saniert. Diese Rohre waren nach dem heutigen Stand der Technik statisch nicht ausreichend bemessen und wiesen Schäden auf.

Die Sanierung erfolgte dabei durch kombiniertes und durch dynamisches Berstlining mit PE Rohren mit Außendurchmesser 225 mm, SDR 7,4. Es kam Langrohrberstlining zum Einsatz. Eine darauf folgende Maßnahme auf der Deponie Herzogenaurach entsprach im Wesentlichen dieser Maßnahme und bestätigte die Ergebnisse. In Neunkirchen konnte die Berstrakete in allen Fällen ebenerdig am Deponierand angesetzt werden, in Herzogenaurach wurden Spritzbetonbaugruben abgeteuft.

Als Besonderheit auf der Deponie Neunkirchen traten 2 Brüche des Zuggestänges bei der kombinierten statisch/dynamischen Berstmethode auf. Die Arbeiten mit der danach eingesetzten rein dynamischen Methode verliefen erfolgreich. Auf der Deponie Herzogenaurach wurde die dynamische Methode beibehalten und die Berstmaßnahmen ebenfalls erfolgreich durchgeführt.

Auffällig waren die großen Haltungslängen von bis zu ca. 180 m, die unter maximalen Überdeckungshöhen von ca. 20 – 25 m Abfall mehrfach erreicht wurden.

6.7 Weitere Deponiebaumaßnahmen

Während des Bearbeitungszeitraumes fand eine Sanierungsmaßnahme auf der Deponie Kalbach des Landkreises Fulda statt. Außer der hohen Überdeckung von ca. 30,0 m war als Besonderheit das Vorhandensein von 30 – 40 Stahlblechmanschetten in der Leitung vorhanden. Diese Manschetten aus Stahlblech waren zur Rohrsanierung in die bestehende Leitung eingebaut worden. Sie konnten jedoch eine dauerhafte Sanierung nicht ersetzen. Das Durchfahren der Manschetten mit der dynamischen Berstrakete gelang. Wegen eines Bogens in der Leitung blieb die Rakete nach ca. 90 m stecken. Die gesamte Haltungslänge betrug 100 m. Zum Einsatz kam dynamisches Langrohrberstlining, das aus Baugruben, die mit Stahlrohren verbaut waren, gestartet wurde.



Bild 9 Deponie Kalbach - Durchberstete Manschetten

An den in der Bergegrube sichergestellten Manschetten zeigte sich, dass sie teilweise aufgebrochen worden waren und teilweise aufgeschnitten und zerdrückt wurden. Die Oberfläche der vorderen Rohre des Stranges wurde augenscheinlich untersucht. Ihr Aussehen entspricht dem „üblicherweise“ beim Berstlining zu erwartenden Zustand, insbesondere wurden keine Spuren von Schnitten auf der Oberfläche vorgefunden.

Auf der Deponie Tübingen wurde ein PE Rohr SDR 17 mittels statischem Langrohrberstlining erfolgreich ausgewechselt. Die Aufweitung entsprach den oben angegebenen Maßen, die Zugkraft betrug 600 – 700 kN. (Zugkraft und Altrohr gemäß Angaben Herr Lobenhofer, Bauleitung der bauausführenden Firma Ferrum, Neutraubling).

6.8 Materialuntersuchungen

Es soll der Frage nachgegangen werden, ob durch das kombinierte statisch-dynamische Bersten Verschwächungen der eingezogenen Rohrleitungen auftreten. Durch Vergleiche mit den vorliegenden und im ersten Bericht beschriebenen Materialuntersuchungen für dynamisches Bersten soll hierbei der Einfluss festgestellt werden, den das beim statischen Verfahren angewandte Aufbringen der Zugkraft über ein Gestänge hat. Zur Feststellung von Schwächungen des Rohrmaterials wurden verschiedene Untersuchungen an Rohren, die auf der Deponie Titisee-Neustadt jeweils nach dem Einziehvorgang

direkt hinter der Berstrakete wieder ausgebaut wurden, durchgeführt. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass - wie auch für das dynamische Berstlining festgestellt - Verschwächungen gegenüber dem neuwertigen Material auftreten. Diese Verschwächungen bewirken jedoch kein Absinken der Materialeigenschaften unter die in den Materialnormen geforderten Werte.

Im Labor der Simona AG wurden E-Modul, Streckspannung, Streckdehnung, Zugspannung, Bruchspannung und Bruchdehnung jeweils an 6 Proben des geborgenen Berstrohres und einer neuwertigen Referenzprobe festgestellt. Die 6 Proben bestanden dabei aus je 2 Proben von der Rohraußenwand, dem Rohrzentrum sowie der Rohrrinnenwand.

Statistik:

PE - 80 n = 6	E-Modul MPa	StrSp MPa	StrDeh %	Zugsp MPa	Zugdeh %	BrSpa MPa	BrDeh %	S0 mm ²
$\bar{x}$	867,84	22,66	10,82	22,66	10,82	9,04	331,48	95,31
min	785,62	21,68	10,24	21,68	10,24	7,51	238,40	94,65
max	915,96	23,30	11,49	23,30	11,49	10,21	465,55	96,24
s	58,28	0,68	0,55	0,68	0,55	1,14	89,83	0,5783

Tabelle 1 Versuchsergebnisse Berstrohr

In der Tabelle 1 sind die Versuchsergebnisse für die beiden Berstrohre als Mittelwert sowie Minimal- und Maximalwert angegeben. Tabelle 2 zeigt die Vergleichswerte für das unbenutzte Rohr. Die Abminderung zum Beispiel des mittleren E-Moduls beträgt danach $867,84/993,04 = 0,87$ entsprechend 12,6 % (12,8 % beim Minimalwert, 12,96 % beim Maximalwert). Bei der Bewertung dieser Abminderungswerte muss beachtet werden, dass im ATV Arbeitsblatt A 127, das als Grundlage für Rohrberechnungen im Kanalbau dient, ein Kurzzeit E-Modul von 800 N/mm² angegeben ist. Höhere Werte können nur auf Grund besonderer materialspezifischer Untersuchungen angesetzt werden. Dieser Mindestwert wird mit Ausnahme der Probe 1 (785,62 N/mm²) von allen Proben übertroffen.

Statistik:

PE - 80 n = 6	E-Modul MPa	StrSp MPa	StrDeh %	Zugsp MPa	Zugdeh %	BrSpa MPa	BrDeh %	S0 mm ²
$\bar{x}$	993,04	24,76	10,06	24,76	10,06	14,98	559,18	95,37
min	901,82	23,64	9,43	23,64	9,43	14,48	554,68	94,06
max	1052,34	25,54	10,66	25,54	10,66	15,54	570,06	96,21
s	63,58	0,86	0,47	0,86	0,47	0,41	5,73	0,7476

Tabelle 2 Versuchsergebnisse Neurohr



Bild 10 Materialproben nach der Untersuchung

6.9 Besonderheiten bei den statischen Berechnungen

Der wesentliche Unterschied in der Berechnung von im Berstliningverfahren eingezogenen Rohren gegenüber den in offener Bauweise verlegten Rohren liegt in der Rohrauf-
lagerung und der Rohrbettung. Ohne Aufgrabung ist es nicht möglich ein bestehendes
Rohrauf-
lager an ein Rohr, das einen anderen - im Allgemeinen größeren - Außen-
durchmesser als das ursprünglich verlegte Rohr hat, anzupassen. Die Verfüllung von
Bereichen unter dem neuen Rohr erfolgt gemäß den Aufnahmen vor Ort beim Berstli-
ning mit hereinrollendem Filterkies, da der Durchmesser des Aufweitkörpers der Berst-
rakete größer als der des einzuziehenden Rohres ist. Bei den untersuchten Deponien
wurde Filterkies nicht nur im bestehenden alten Rohrauf-
lager, sondern auch unter dem

gesamten neu verlegten Rohr vorgefunden. Die Dicke der Kiesschicht unter dem Rohr variierte stark.

Die Reste des zerstörten Altrohres verbleiben im Boden (eine Ausnahme bildete teilweise die Deponie Gallenbach, auf der einige PE Streifen des zerschnittenen Altrohres nachträglich herausgezogen wurden). Steinzeugrohre wurden dabei bei dynamischen Bersten und beim kombinierten Verfahren, soweit dies nachträglich feststellbar war, außer in direkt am Schacht liegenden Endbereichen vollständig zerstört. Im Schachtbereich wurden die Scherben von der Berstrakete aus der Leitungszone herausgeschoben und konnten händisch entfernt werden. Beim statischen Berstlining verblieben die Scherben von Steinzeugrohren in der Leitungszone.

Um diese Randbedingungen in der statischen Berechnung der Rohre realistisch berücksichtigen zu können, wird die Methode der Finiten Elemente angewendet. Die statische Berechnung von Berstliningrohren wurde in /6/ ausführlich untersucht und ist dort beschrieben. Sie setzt sich aus den zwei Teilen Vorbemessung und endgültige statische Berechnung zusammen. Bei der Vorbemessung erfolgt für die endgültig vorgesehene Überdeckungshöhe unter Berücksichtigung der Zugkräfte und Krümmungsradien beim Einziehen mittels FEM Parameteruntersuchungen eine Vordimensionierung der Berstrohre. Hierbei müssen verschiedene mögliche Einbausituationen berechnet werden. Beim Kurzrohrberstlining sind keine Krümmungsradien erforderlich. Da bei diesem Verfahren bei den untersuchten Baustellen der Rohrstrang durch ein innenliegendes Zugglied zugfest verbunden war, treten keine bemessungsrelevanten Zugkräfte im Rohr auf. Nach dem Einbau wird die tatsächlich entstandene Einbausituation so genau wie möglich aufgenommen. Durch Abbildung dieser Einbettungssituation unter Berücksichtigung von eventuellen Schädigungen des Rohres durch das Berstlining erfolgt eine endgültige statische Berechnung.

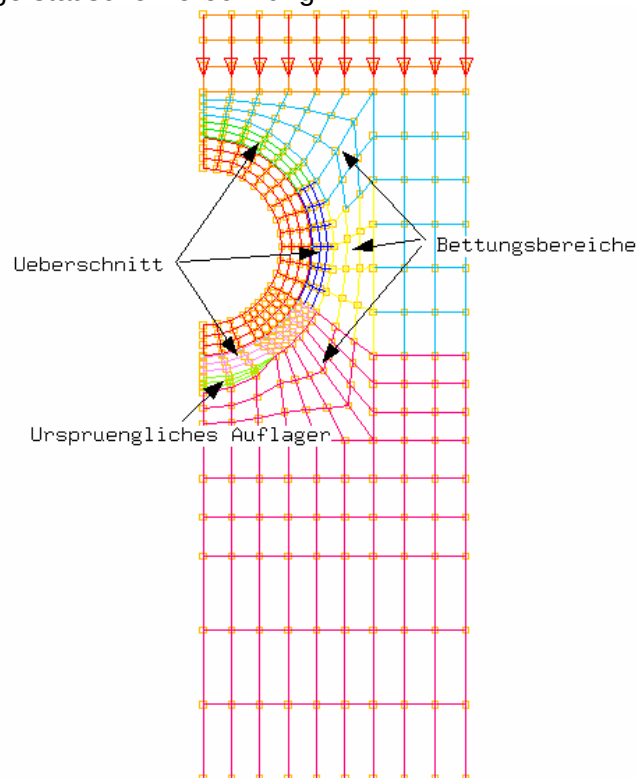


Bild 11 FE Modell für ein Berstliningrohr

Für statische Berechnungen mit Parametervariationen für die verschiedenen Bodenschichten im Rohrbereich wird die Finite-Elemente-Methode FEM, d. h. die Methode der endlich großen Elemente, verwendet. Dies ist ein leistungsfähiges Verfahren zur numerischen Lösung von Festigkeitsproblemen aller Art im elastischen und plastischen Bereich. Es basiert auf der Lösung linearer Gleichungssysteme höherer Ordnung mit Hilfe von Computern. Die Gleichungssysteme werden unter Anwendung der Matrizenrechnung aufgestellt. Das zu berechnende System, auch Struktur genannt, wird in passende Elemente aufgeteilt, die über Knotenpunkte miteinander verknüpft sind.

Die Berechnungen erfolgen im Allgemeinen als zweidimensionale Berechnungen, bei den Boden und Rohr aus Scheibenelementen abgebildet werden. Da sich die Oberflächen von Rohr und Boden gegeneinander verschieben können, wird der Kontakt zwischen Boden- und Rohrelementen an den Elementknoten über Gap-/Friction-Elemente hergestellt. Die Steifigkeit dieser Elemente ist so gewählt, dass zwischen Boden und Rohr in Radialrichtung keine Relativverschiebungen auftreten. In Umfangsrichtung kann der Boden am Rohr entlang gleiten. Als Materialdaten sind für alle Materialien Elastizitätsmodul E , Querdehnzahl ν und Wichte γ erforderlich. Die Berechnungen erfolgen mit linear-elastischen Stoffgesetzen. An den vertikalen Modellrändern werden die Verschiebungen in horizontaler Richtung an allen Knoten gesperrt (Symmetriebedingung bzw. Bodeneinfluss abgeklungen). Am unteren Modellrand werden die Vertikalverschiebungen an allen Knoten gesperrt.

Das Eigengewicht der im FE-Modell enthaltenen Bodenschichten und des Rohres wird über die Definition der Erdbeschleunigung (10 m/s^2) in die vertikale Richtung berücksichtigt. Das Gewicht der nicht im FE-Modell enthaltenen Müllüberdeckung mit Oberflächenabdichtung wird auf die oberste Elementschicht des FE-Modells als gleichmäßig verteilte Druckbelastung aufgebracht.

Für den Nachweis der Standsicherheit müssen Verformungs-, Spannungs- und Stabilitätskriterien erfüllt werden.

7. Bekannt gewordene Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

7.1 Allgemeines

Wie schon unter Punkt 2. beschrieben, erfolgen regelmäßig Veröffentlichungen und Untersuchungen zum Thema Berstlining. Während die Veröffentlichungen meistens firmenspezifische Details - meist zu Anwendungsmöglichkeiten des eigenen Verfahrens - oder Beschreibungen von Baumaßnahmen beinhalten, werden in den oben genannten Untersuchungen allgemeine Aspekte des Verfahrens Berstlining bearbeitet. Durch die unseres Wissens ausnahmslos erfolgte Beschränkung auf den kommunalen Tiefbau können die Ergebnisse für den hier behandelten Deponiebau nicht übernommen werden.

7.2 Material

7.2.1 Materialbezeichnung

In /20/ wird von Frank darauf hingewiesen, dass die Deutschen Normen DIN 8074 /18/ und DIN 8075 /19/ den Werkstoff Polyethylen (PE), aus dem bisher alle auf Deponien im Berstliningverfahren eingebauten Rohre bestehen, in die Werkstoffklassen PE 63, PE 80, PE 100 und PE-HD einteilen. Für PE-HD, die bisher als Oberbegriff übliche Materialbezeichnung für alle Polyethylen-Rohre, werden im Anhang A der DIN 8075 geringere Soll-Werte, die im Zeitstandsinnendruckversuch nachzuweisen sind, gefordert als für PE 80. Die Bezeichnung PE-HD muss im Rohrbereich daher durch die aussagekräftigeren Bezeichnungen PE 80 oder PE 100 ersetzt werden.

7.2.2 Materialauswahl

Die Materialauswahl für Polyethylen-Rohre ist zum Zeitpunkt dieses Berichtes auf die Gruppen PE 80 und PE 100 beschränkt. Da verfahrensbedingt bei grabenloser Rohrverlegung Beschädigungen der Rohroberfläche auftreten können, ist der Widerstand gegen Rissfortpflanzung neben den Kennwerten, die in den statischen Nachweisen eingesetzt werden – Kriechmodul, Wichte, Grenzspannungen und Abminderungen bzw. Resistenzen bei Medieneinflüssen, Temperatureinflüssen und Alterung – ein wichtiges Auswahlkriterium. Hier bieten bimodale Werkstoffe, bei denen die gerichteten PE-Ketten untereinander quervernetzt sind, bessere Kennwerte. Die Rissfortpflanzung wird im FNCT (Full notch creep test) geprüft. Vom deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) werden Werte für eine Zulassung als Rohrwerkstoff für allgemeine Anwendungen angegeben (/24/), vom DVGW werden für die Anwendung bei Berstliningmaßnahmen deutlich höhere Mindeststandzeiten gefordert (/23/).

Werkstoff	DIBt Forderung	DVGW Forderung Gas / Wasser
PE 80	> 100	nicht zulässig
PE 100	> 300	> 3300 / > 2700

Tabelle 3 Erforderliche Standzeiten FNCT

8. Darstellung und Bewertung der erzielten Ergebnisse und ihre praktische Anwendbarkeit

8.1 Riefen

Die statischen Auswirkungen der aufgetretenen Riefen auf der Deponie Medbach zeigen deutlich den signifikanten Einfluss von Riefen auf den Erfolg einer Berstmaßnahme.

Riefen während des Berstvorganges sind nicht mit Sicherheit zu verhindern. Sie können durch die Wahl einer größeren Aufweitung und eines geeigneten Rohrmaterials minimiert werden. Hinweise zum Verhältnis Rohrdurchmesser / Aufweitung enthalten die Punkte 2.2. und 6.5. Hier können jedoch dem ausführenden Unternehmen keine Vorgaben gemacht werden, da die richtige Wahl der Aufweitung Auswirkungen auf den Erfolg der Berstmaßnahme hat. Zur Materialauswahl werden nachfolgend im Punkt 8.6 Anforderungen beschrieben.

Riefen vor der Berstmaßnahme durch den Transport der Rohre zum Einsatz können vermieden werden. Hierfür sollen vom ausführenden Unternehmen im Vorfeld der Baumaßnahme Angaben zum gewählten Ort der Rohrlagerung und der Rohrvorbereitung sowie zur Art des Transportes zum Einsatzort gemacht werden, die von einer unabhängigen Fremdüberwachung kontrolliert werden. Die hierfür erforderlichen Maßnahmen sind ein wichtiger Teil des Qualitätsmanagements der Baustelle. Beim Kurzrohrberstlining werden die Rohre auf Paletten gelagert und transportiert. Ein „über die Deponie Ziehen“ wie bei einem langen verschweißten Rohrstrang findet nicht statt. Hier ist lediglich ein geeignetes Transportmittel zum Ablassen in die Schächte erforderlich.

Rohrstücke, die Riefen aufweisen, müssen ausgetauscht werden. Einzelne Riefen, die weniger als 3 mm tief sind, können bei „üblichen“ dickwandigen Deponierohren vernachlässigt werden. Soll ein Bereich mit einer größeren Anzahl von Riefen - auch < 3 mm - im Rohrstrang belassen werden, muss vor dem Berstbeginn eine Freigabe durch die Fremdüberwachung erfolgen. Der Bereich ist gegebenenfalls durch eine Abschwächung der Rohrwand an der radial ungünstigsten Stelle bei den statischen Berechnungen zu berücksichtigen. Für Rohre mit kleineren Durchmessern, die unter einer geringen Auflasthöhe eingebaut werden, sind aus statischer Sicht dünnere Rohrwandungen möglich. Zur Beurteilung von Riefen für solche Rohre wird auf die Angabe in /23/, die Riefen < 10 % der Mindestwanddicke gestattet, hingewiesen.

Die Ursache der vorgefundenen Riefen auf der Deponie Medbach war der zum fraglichen Zeitpunkt abwesende verantwortliche Polier der Baustelle. Dies resultierte sowohl in der mangelhaften Ausführung des Transportes der Leitung über die Deponieoberfläche zum Einziehort, als auch in der zu späten Benachrichtigung des Fremdüberwachers der Berstmaßnahme. Die Maßnahme wurde von einer Fachfirma ausgeführt, die bei den übrigen überwachten Baustellen auf sorgfältige Arbeit achtete. Auf Grund dieser Erfahrungen werden der Baustelleneinrichtung, der Qualifikation des Personals und der Nennung von verantwortlichem Bauleiter und Polier Abfragen im nachfolgenden Fragebogen „Datenblatt Baustellenüberwachung“ zugeordnet, die von der Fremdüberwachung auszufüllen und zu überwachen sind.

8.2 Berstdaten und Berstverfahren

Deponie	Berstart	Max. Einzugslänge	Zugkraft	Durchmesser Alt/Neu/Aufweitung
Gallenbach	L,K / s/k	20 - 30 m	40 - 80 to	250/280/350
Medbach	L / s/k	60 m	5 - 40 to	DN 300/355/380
Titisee Neustadt	L / k	60 m	s 70 to / d 40 to	DN 225/280/350
Am Lemberg	L,K / k,d	30 m	3 to	DN 200/280/345
Neunkirchen	L / k,d	180 m	6 to	DN 180/225/350
Herzogenaurach	L / d	160 m	5 to	DN 180/225/340
Walleshausen	L / d	70 m	5 to	DN 150/160/340

Tabelle 4 Übersicht Berstmaßnahmen

Erklärungen zur Tabelle 4:

L: Langrohrberstlining

K: Kurzrohrberstlining

s: statisches Berstlining

d: dynamisches Berstlining

k: kombiniertes Verfahren

Auf den überprüften Baustellen wurden Haltungslängen zwischen 20 und 180 m ausgetauscht. Die Auswechslungen erfolgten mit Langrohr- und Kurzrohrberstlining. Es kamen das dynamische, das statische und das kombinierte statisch/dynamische Berstverfahren zum Einsatz. Während Rohre aus PE, PVC und Steinzeug ersetzt werden mussten, wurden ausschließlich Rohre aus PE neu verlegt. Die Größe der gewählten Aufweitung lag relativ einheitlich zwischen 340 und 380 mm, obwohl die Altrohrdurchmesser mit Werten zwischen 150 und 300 mm unterschiedlich waren. Die Zugkraft lag beim dynamischen Bersten im Bereich von 30 - 60 kN. Beim statischen und beim kombinierten Verfahren wurden Zugkräfte von 400 - 800 kN aufgebracht. Zur Berücksichtigung der Zugkräfte bei der Dimensionierung der Rohre erfolgen im folgenden Punkt 8.4 weitere Hinweise.

Auf den Deponien Titisee-Neustadt, Walleshausen, Herzogenaurach und Neunkirchen verliefen die Berstliningmaßnahmen ohne Probleme, die Auswirkungen auf Bauzeit, Baukosten oder Ausführungsqualität hatten. Zu nennen ist hier lediglich die Tatsache, dass auf der Deponie Neunkirchen bei 2 langen Haltungen (Berstlängen 160 - 180 m) das Zuggestänge beim kombinierten Verfahren ausfiel. Die Berstvorgänge konnten trotzdem wie vorgesehen beendet werden. Danach wurde für die weiteren Haltungen dynamisches Berstlining ohne Schwierigkeiten eingesetzt.

Auf den Deponien Gallenbach und Am Lemberg blieben Berstraketen beim Kurzrohrberstlining stecken und mussten aufwändig geborgen werden.

Auf der Deponie Medbach fiel bei einer Haltung das Zuggestänge beim kombinierten Verfahren aus und die Rakete musste geborgen und neu angesetzt werden.

Insgesamt traten beim dynamischen Langrohrberstlining keine Schwierigkeiten auf. Die erreichten Berstgeschwindigkeiten zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der Überdeckungshöhe. Bei der kombinierten Methode bildet augenscheinlich das Gestänge, dass zusätzlich zur vorgesehenen statischen Zugkraft auch (trotz eines zwischengeschalteten Dämpfungselementes) mit der Schlagenergie der dynamischen Berstrakete beaufschlagt wird, einen Schwachpunkt. Dies gilt sowohl für das Gestängematerial (Brüche in Neunkirchen) als auch für die Gestängeverbindung (Aushaken in Medbach). Während bei Einsatz des kombinierten (Langrohr-) Verfahrens Erfolge und Mißerfolge auftraten, bereitete der Einsatz des Kurzrohrberstlining durchgehend Schwierigkeiten. Die Einsätze fanden unter hohen Abfallüberdeckungen in Gallenbach und Am Lemberg statt. Nach dem augenblicklichen Erfahrungsstand wird angenommen, dass sich der Hohlraum, der durch den Überschnitt hergestellt wird, während der Stillstandszeit, die zum Einfädeln jedes neuen Rohrstückes erforderlich ist, in einem Maß zurückbildet, das größere Berstlängen unter hohen Auflasten unmöglich macht. Statisches Berstlining wurde in Anfahrbereichen bei der kombinierten Methode eingesetzt und zur Auswech-selung eines PE-Rohres. Ausführungstechnisch traten keine Probleme auf. Das in Medbach vorgefundene Bild der verbleibenden Scherben war dort unkritisch, da in einem gering überdeckten Randbereich die Scherben einheitlich radial um die Rohre gelagert waren. Dies kann jedoch bei längeren Berststrecken nicht als ausnahmslos gegeben betrachtet werden.

Den oben beschriebenen Berstergebnissen entsprechend wird, zum Zeitpunkt dieses Berichtes auf Deponien, dynamisches Berstlining bevorzugt eingesetzt. Das statische Berstlining wird für das Auswechseln von PE Rohren, die nicht durch Schlagenergie zerstört sondern geschnitten werden, eingesetzt. Ein weiterer Einsatz des Kurzrohrberstlinings im Deponiebereich ist nach Wissensstand des Verfassers nicht vorgesehen. Aus Sicht unserer Überwachungen sind diese Vorgehensweisen sinnvoll.

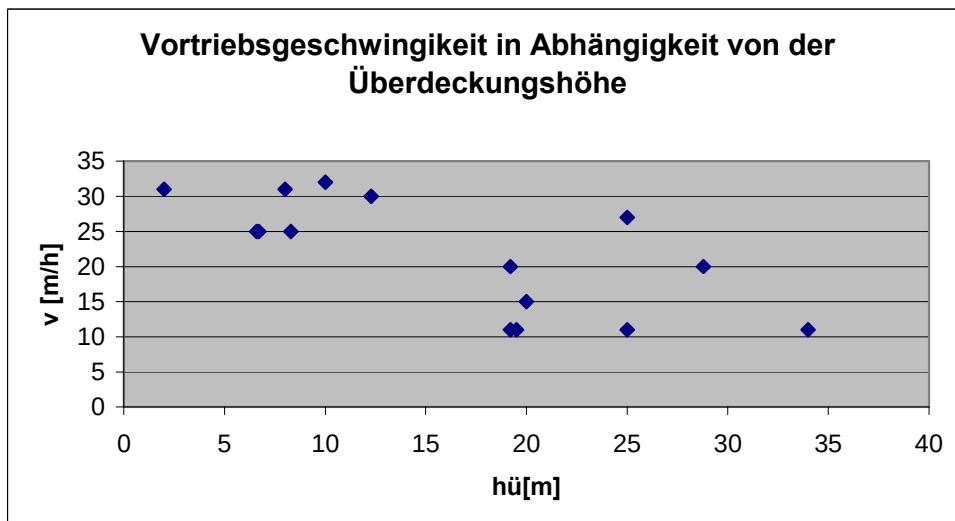


Bild 12 Verteilung der Vortriebsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Überdeckungshöhen

Die Vortriebsgeschwindigkeiten zeigten bei allen untersuchten Baustellen eine deutliche Abhängigkeit von der Überdeckungshöhe. Dies gilt einheitlich für das dynamische und das statische Berstlining. Systembedingt liegen keine verwertbaren Daten zu Berstgeschwindigkeiten des Kurzrohrberstlining vor, da der Berstfortschritt kontinuierlich unterbrochen und wieder angefahren wird. Die höchsten Werte für die Vortriebsgeschwindigkeit wurden mit dem kombinierten statisch/dynamischen Verfahren ($v = 34 \text{ m/h}$ bei $h_{\text{Ü}} = 11 \text{ m}$ und $v = 19,2 \text{ m/h}$ bei $h_{\text{Ü}} = 20 \text{ m}$) und beim rein statischen Bersten eines PE-Rohres in Tuningen ($v = 27 \text{ m/h}$ bei $h_{\text{Ü}} = 25 \text{ m}$) erreicht. Beide statisch/dynamisch gebersteten Strecken waren ca. 50 - 60 m, die statisch geberstete Strecke 40 m lang. Bei Überdeckungen über 25 m kam nur dynamisches Berstlining erfolgreich zum Einsatz. Die kombinierte Methode zeigte deutliche Schwierigkeiten in den Deponien Neunkirchen und Am Lemberg, bei denen jeweils nach Versuchen die kombinierte Methode einzusetzen mit dynamischem Berstlining weitergearbeitet werden musste.

8.3 Berstvorgang

Beim statischen Bersten werden die Vorwärtsbewegung der Rakete und die Zerstörung des Altrohres durch Zugkraft bewirkt. Die Zugkraft wird von einer Zugmaschine am Ziel über ein Gestänge auf den Berstkopf (der Berstopf entspricht der Berstrakete beim dynamischen Bersten) aufgebracht. An diesem Berstkopf ist der Rohrstrang befestigt. Da der Berstkopf keinen eigenen Antrieb besitzt, ist die Zugkraft größer als beim dynamischen Bersten. Während beim dynamischen Berstlining eine Kraft von ca. 30 - 60 kN im Normalfall ausreicht um das Zugseil kontinuierlich unter einer Mindestspannung zu halten, ist beim statischen Berstlining eine Zugkraft von 400 - 800 kN erforderlich. Um beim kombinierten Verfahren das Gestänge kontinuierlich unter einer Mindestspannung zu halten wird üblicherweise eine Zugkraft von ca. 300 - 400 kN aufgebracht. Da diese Zugkraft vom Rohrdurchmesser nicht wesentlich beeinflusst wird, kann in kleineren Rohren eine erhebliche Spannung auftreten. Zum Vergleich werden ein Rohr Da 355 mm und ein Rohr Da 200 mm der gleichen SDR Reihe 7,4 berechnet:

$$\sigma_z = F / A \quad \text{mit max. } F \text{ Zugkraft für die Annahme 20 \% der Zugkraft werden auf das Rohr übertragen } F = 0,2 * 800 \text{ kN} = 160 \text{ kN}$$

A Rohrfläche

$$A_{355} = (355^2 - 258^2) * \pi / 4 = 46700 \text{ mm}^2$$

$$A_{200} = (200^2 - 145,2^2) * \pi / 4 = 14857 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{z355} = 160000 \text{ N} / 46700 = 3,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{z200} = 160000 \text{ N} / 14857 = 10,8 \text{ N/mm}^2$$

Die Annahme, dass 20 % der Zugkraft auf das Rohr wirken, resultiert aus einer Messung auf der Deponie Kahlenberg. Hier verminderte sich die erforderliche Zugkraft von 600 kN nach Ablösung des Rohres auf 500 kN für den Berstkopf ohne Rohr. Weitere Daten liegen zur Zeit nicht vor.

Die kurzzeitige Grenzzugspannung für PE (PE 80) beträgt nach /4/ temperaturabhängig:

$\sigma_{\text{grenz,Zug,kz}}$ °C	N/mm ²
20	12,0
30	10,2
40	8,7

Im Gegensatz zum dynamischen Bersten treten beim statischen Berstlining keine Wärmeauswirkungen direkt hinter dem Berstkopf auf. Die Sicherheit beträgt dann:

$$\eta_{355} = 12,0 / 3,4 = 3,5$$
$$\eta_{200} = 12,0 / 10,8 = 1,1$$

Für einen kurzzeitigen Bauzustand kann eine Mindestsicherheit von 1,3 (zum Beispiel für Beförderungszustand nach DIN 4227 Teil 1 Abschnitt 9.4) toleriert werden. Die Beurteilung der Ergebnisse ist schwierig, da die Annahme, dass 20 % der Zugkraft auf das Rohr übertragen werden, im Falle eines gleichmäßig guten Berstvortriebes eher hoch, im Falle eines kritischen Zustandes, in dem ein Steckenbleiben befürchtet wird, aber durchaus realistisch erscheint.

In /17/ werden in Abhängigkeit vom Rohrmaterial und der Temperatur als zulässige Zugkräfte die folgenden Werte angegeben:

Rohr Da x s in mm	PE Material	Zul. F in kN bei 20 °C	Zul. F in kN bei 40 °C
355 x 48,5	PE 80	374	262
	PE 100	(467)	(327)
200 x 27,4	PE 80	119	83
	PE 100	(149)	(104)

Tabelle 5 Zulässige Zugkräfte nach /17/

Die Klammerwerte in Tabelle 5 sind in /17/ nicht angegeben, sie wurden mit den Geometrien und den angegebenen Grenzzugspannungen nachgerechnet. Die Tabelle geht von zulässigen Spannungen von 8 (10) N/mm² für PE 80 (100) aus und mindert mit dem Faktor 0,7 für einen Temperatureinfluss aus 40 °C ab.

Temperaturen unter dem Gefrierpunkt führen zu einer erheblichen Versprödung des Materials PE. Berstliningmaßnahmen können dann nur unter besonderen Schutzmaßnahmen, die eine Aufheizung der Rohre zulassen, ausgeführt werden. Da dies insbesondere bei perforierten Rohren schwer möglich ist, musste auf der Deponie Walleshausen eine Rohrauswechslung frostbedingt verschoben werden. Dieser Anforderung muss in der Ausschreibung Rechnung getragen werden.

Beim statischen Bersten wird das Altrohr durch Zugkräfte „gesprengt“ und radial nach außen gedrückt. Eine „Pulverisierung“ des Materials wie beim dynamischen Berstlining, bei dem 200-300 Schläge pro Minute den Vortrieb auslösen, findet nicht statt.

Dementsprechend können Scherben im Rohrbereich verbleiben. Auf Bild 13, das im Randbereich der Deponie Medbach aufgenommen wurde, liegen die Scherben radial verdrängt um das Rohr an. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Scherben in einer anderen Lage verbleiben und dadurch Spannungsspitzen im Rohr auftreten. Untersuchungen zu solchen Spannungen aus Scherben werden in Unterlage /7/ beschrieben. Für die Erhöhung der Spannungen wird ein Faktor von 1,2 - 3,0 angegeben. Statisches Berstlining soll daher im Deponiebau vorbehaltlich weiterer Untersuchungen bei Altrohren aus den Rohrmaterialien Steinzeug oder Beton nicht angewendet werden.



Bild 13 Statisch geberstetes Steinzeugrohr

8.4 Kurzrohrberstlining / Biegeradien

In /6/ wird als Mindestbiegeradius der 25-fache Außendurchmesser des Rohres gefordert. Im Falle der Möglichkeit eines ebenerdigen Zuganges zum Berstbeginn ist diese Forderung für die Bauausführung nicht relevant. Muss das Rohr jedoch von der Deponieoberfläche zur Deponiebasis geführt werden, so ergeben sich Baugrubenlängen von:

Rohraußendurchmesser mm	Baugrubendurchmesser m
200	5,00
250	6,25
280	7,00
315	7,90
355	8,90

Tabelle 6 Baugrubendurchmesser

Der Mindestbiegeradius gilt für eine mittlere Temperatur von 20 °C und steigt für tiefere Temperaturen an:

Temperatur °C	Biegeradius in Da nach /6/	Biegeradius in Da nach /17/
20	25	20
10	-	35
0	-	50

Tabelle 7 Mindestbiegeradien für den Rohreinzug

In /6/ wird der aus der Randfaserdehnung ε des Rohres unbedenkliche Wert berechnet. Für tiefere Temperaturen können dann die Werte, die die Rohrhersteller in ihren technischen Informationen angeben und die auch in /17/ übernommen wurden, eingesetzt werden. Bei Rohrtemperaturen unter dem Gefrierpunkt darf Berstlining nur bei geeigneten Maßnahmen zur Erwärmung des Rohrstranges durchgeführt werden.



Bild 14 Ebenerdiger Ansatz einer Berstrakete
Dynamisches Langrohr Berstlining auf der Deponie Oberostendorf



Bild 15 Ausführung Biegeradius

Aus ausführungstechnischen Gründen werden die Baugruben meist rund ausgeführt. Die Menge des Aushubs, die durch Aushub, Zwischenlagerung und Wiedereinbau einen erheblichen Kostenfaktor darstellt, steigt durch den erforderlichen Biegeradius an:

Rohraußendurchmesser mm	Aushub für eine Einbautiefe von 20 m Und eine Abfalldichte 15 kN/m ³	
	m ³	to
200	393	590
250	613	920
315	980	1470
355	1244	1866

Tabelle 8 Aushubmengen

Eine Möglichkeit zur Reduzierung des Aushubs zeigt Bild 2 in Abschnitt 5.1. Hier wird das (patentierte) Tandemschachtverfahren eingesetzt. Eine weitere Möglichkeit bietet der Einsatz des Kurzrohrberstlining. Die Länge der nacheinander einzuziehenden Rohre kann dabei dem Durchmesser von bestehenden Deponieschächten angepasst werden. Auf der Deponie Gallenbach wurden 1,40 m bzw. 1,10 m lange Kurzrohre aus den 2,00 m (Innendurchmesser-) Schächten eingesetzt.

Beim Kurzrohrberstlining muss für die Rohre ein zugfestes Verbindungssystem verwendet werden, das wegen des Einziehvorganges nicht auf der Rohraußenseite und wegen der Kamerabefahrungen nicht auf der Rohrinnenseite auftragen darf. Da die Stillstandszeiten zum jeweiligen Auffädeln eines Rohres gering bleiben müssen, kann das beim Langrohrberstlining angewandte Verschweißen nicht eingesetzt werden. Die Rohrverbindung muss demgemäß in die Rohrwand integriert werden. Zusätzlich wird ein Zugglied, das im Rohrstrang durch die Leitung verläuft, verwendet. Hierfür eignen sich Seile, Ketten oder Gestänge. Wenn von einer kraftschlüssigen Verbindung der Rohre durch das Zugglied ausgegangen werden kann, treten in den Rohren keine relevanten Längskräfte auf.

In Gallenbach wurde die zugfeste Rohrverbindung durch ein durch den gesamten Rohrstrang verlaufendes Stahlseil, das mittels eines Enddeckels den Strang zusammenhielt, unterstützt.

Beim Einziehen wurde der Rohrvortrieb nach einem Fortschritt von einer Rohrlänge unterbrochen. Das Stahlseil musste dann gelöst und ein weiteres Rohr dem Rohrstrang angegliedert werden. Danach wurde durch die Zugmaschine der Vortrieb wieder angefahren.

Aus statischer Sicht werden beim Kurzrohrberstlining die Zugkräfte im Rohr während des Einziehens von der innen liegenden Verbindung aufgenommen. Augenmerk ist auf die Ausführung der in die Rohrwand integrierten Rohrverbindungen bezüglich Zugfestigkeit gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Dichtigkeit zu legen.



Bild 16 a / b Enddeckel einer zugfesten Verbindung eines Rohrstranges beim Kurzrohrberstlining

8.5 Qualitätssicherung beim Berstlining auf Deponien

Die wesentlichen Grundlagen der Qualitätssicherung für Berstliningmaßnahmen auf Deponien aus statischer Sicht sind in den Datenblättern „Vorbemessung“ und „Endgültige statische Berechnung“ in /6/ gegeben. Die beiden Datenblätter enthalten jeweils einen Fragebogen, mit dem vollständigen Ausfüllen die Grundlagen der Planung und der endgültigen Beurteilung der Maßnahme gegeben sind.

Bisher nicht enthalten waren Überwachungsanforderungen auf der Baustelle, die keinen direkten Einfluss auf die endgültige statische Bemessung der neu eingezogenen Depo-nierohre ausüben. Wie in 8.1 gezeigt, werden jedoch der Erfolg der Maßnahme und die endgültige statische Berechnung der Berstrohre durch die Baustelle beeinflusst. In die aktualisierte Version der Datenblätter wird daher ein weiterer Fragebogen, der zeitlich zwischen den beiden vorhandenen Fragebögen liegt und die Baustellenüberwachung behandelt, aufgenommen.

Die Qualifikation des ausführenden Unternehmens muss dem Bauherrn im Vorfeld nachgewiesen werden, da nach VOB/DIN 1960 die Bauleistungen an „fachkundige, leistungsfähige und zuverlässige Bewerber“ zu vergeben sind. Die Arbeitsgrundlagen auf der Baustelle werden dann, wie im „Datenblatt Baustellenüberwachung“ Punkt 1 Baustelleneinrichtung und Arbeitsschutz vor Ort, von der Fremdüberwachung überprüft. Da auch fachkundige Unternehmen Personalwechsel unterworfen sind, muss die ausreichende Sachkenntnis des verantwortlichen Bauleiters und des die Baustelle führenden Poliers durch eine mindestens dreijährige Erfahrung auf dem Gebiet der Rohrauswech-slung im Berstliningverfahren oder durch entsprechende Schulungsnachweise belegt werden. Die Überprüfung erfolgt durch die Fremdüberwachung.

Während der Ausführungsphase überprüft die Fremdüberwachung die Punkte:

- Schweißarbeiten zur Herstellung des Rohrstranges beim Langrohrberstlining
- die Daten/Qualitätssicherung der Rohrherstellung bzw. des Rohrmaterials
- die Lagerung der Rohrmaterialien auf der Baustelle
- Rohrtransport auf der Baustelle
- Maschinen für das Berstlining
- endgültige Einbausituation der neuen Rohre
- Berstdaten

Im Abschlussbericht werden diese Maßnahmen des Qualitätsmanagements dokumen-tiert.

8.6 Material

Da bei allen bekannten Berstliningmaßnahmen im Deponiebereich ausschließlich Poly-ethylen-Rohre eingesetzt wurden, beschränkt sich dieser Bericht auf die beiden augen-blicklich am Markt verfügbaren Polyethylenmaterialien PE 80 und PE 100.

Für eine Einbauart, bei der verfahrensimmanent Schädigungen der Rohroberfläche nicht mit Sicherheit auszuschließen sind, müssen Rohrmaterialien ausgewählt werden, die bei solchen Schäden das beste Langzeitverhalten garantieren. Demgemäß sollen nur Roh-re aus Werkstoffen die die DIBt Anforderungen für PE 100 /24/ erfüllen, eingesetzt wer-den.

In /22/ werden in Abhängigkeit von der Spannung im Rohr (hier Zugspannung aus Innendruck) und vom gewünschten Sicherheitsniveau die erforderlichen Mindeststandzeiten für eine Lebensdauer von 100 Jahren bei einer Rohrtemperatur von 20 °C angegeben. Deponierohre unterliegen (innen-)drucklosen Anwendungen. Die statischen Berechnungen von Deponierohren ergeben im Wesentlichen Druckspannungen. Zugspannungen erreichen durchschnittlich ein maximales Niveau von ca. $< 1,0 \text{ N/mm}^2$. Für diese Langzeitzugspannungen sind in /22/ als Mindeststandzeiten beim FNCT angegeben:

FNCT _{min} (h)	Hoop stress (N/mm ²)	Sicherheitsbeiwert
728	1,0	1,00
855	1,0	1,25
1199	1,0	2,00

Tabelle 9 FNCT Zeiten

Bedingt durch die im Deponiebereich gegenüber den Versuchen höhere zu berücksichtigende Dauertemperatur von 40 °C wird der Wert für die erforderliche Standzeit mit einem Faktor von 0,75 (Temperatureinflussfaktor nach Unterlage /26/) erhöht. Die Standzeit im FNCT soll für die eingesetzten Materialien $1200 / 0,75 = 1600 \text{ h}$ nicht unterschreiten.

Es wird empfohlen DIBt zugelassene Formmassen einzusetzen, da damit die grundsätzliche Eignung des PE-Materials ohne weitere Nachweise sicher gestellt ist. Zur Beurteilung nicht zugelassener PE-Werkstoffe sollen die Anforderungen aus den „Zulassungsgrundsätzen für Formmassen aus Polyethylen (PE 63, PE 80, PE 100)“ /24/ des DIBt sinngemäß angewendet werden.

Auf die Möglichkeit Rohre mit einer Schutzschicht einzuziehen wird hingewiesen. Von Rohrherstellern werden für diesen Einsatzzweck PE Rohre, die außen mit Polypropylen (PP) ummantelt sind, angeboten. Ebenfalls möglich ist eine Abminderung der rechnerischen Wanddicke gegenüber der tatsächlich vorhandenen Wanddicke in der statischen Berechnung der Rohre. Hierdurch kann nachgewiesen werden, dass ein Teil der Wanddicke als Verschleißschicht betrachtet werden kann, deren Schädigung keine Auswirkungen auf Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit hat.

8.7 Statische Berechnungen

Für alle oben beschriebenen Deponien erfolgten FEM Berechnungen der Rohre. Die Ergebnisse entsprechen im Wesentlichen den Vorgaben aus /6/. Beispielhaft zeigt Tabelle 10 eine Zusammenstellung der bei einer Parameterberechnung berücksichtigter Einbausituationen. Zusätzlich wurde bei allen Berechnungen zur Vordimensionierung eine ungünstig angebrachte Riefe berücksichtigt. Für das neue Rohr müssen bei PE Materialien im Bauzustand die Abminderungen für Temperatur- und Medieneinflüsse und für den endgültigen statischen Nachweis zusätzlich für die Alterung berücksichtigt werden.

Berechnung Nr.	Stz. oben	Stz. seidl.	Stz. Unten	Bett. oben	Bett. seidl.	Bett. unten
1	zerst.	zerst.	Intakt	fest	fest	fest
2	zerst.	zerst.	Intakt	fest	locker	fest
3	zerst.	intakt	zerst.	fest	fest	fest
4	intakt	zerst.	zerst.	fest	fest	fest
5	intakt	zerst.	zerst.	fest	locker	fest
6	zerst.	zerst.	zerst.	locker	locker	locker
7 wie2+Riefe	zerst.	zerst.	Intakt	fest	locker	fest

Tabelle 10 Einbausituationen

Die Spannungen in radialer Richtung aus den FEM Berechnungen müssen für die Nachweise im Bauzustand mit den Spannungen aus den Einwirkungen des Einziehens überlagert werden. Dieser Interaktionsnachweis kann zum Beispiel nach Bardenheier /4/ geführt werden:

$$\sigma_y = (m-1)/(2m) * (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) + (m+1)/(2m\sqrt{2}) * \sqrt{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}$$

Hierbei können das unterschiedliche Verhalten bzw. die unterschiedlichen Schädigungsgrenzen für PE bei Zug- und Druckspannungen berücksichtigt werden.

Die Einwirkungen während des Berstvorganges sind entsprechend dem vorgesehenen Berstverfahren unter Berücksichtigung der Mantelreibung auf dem Rohrstrang und der Geometrie der Baugruben zu ermitteln. Beim dynamischen Bersten muss die Zugkraft in den Rohren aus der Mantelreibung abgeschätzt werden. Als Richtwert für die Mantelreibung kann der gemäß /6/ auf 2 Baustellen ermittelte Wert 1,8 kN/m² angenommen werden. Der Wert ist jedoch von der Art der Leitungszone und von den Verhältnissen Überschnitt zu Rohraußendurchmesser und Überschnitt zu Altrohrdurchmesser abhängig. Ausreichende Untersuchungen zur tatsächlichen Mantelreibung liegen zur Zeit nicht vor. Beim statischen Berstlining ist die Zugkraft am Berstkopf bekannt. Die Aufteilung in den Anteil des Zugkopfes für Verdrängung des Bodens und Zerstörung des Altrohres und in den Anteil der Rohre als Zugkraft muss abgeschätzt werden. In einem Fall konnte gemessen werden, dass 80 % der Zugkraft am Berstkopf und 20 % auf den angehängten Rohrstrang wirken. Die Plausibilität dieses Verhältnisses muss an Hand der Mantelreibung überprüft werden. Beim Kurzrohrberstlining kann eine Berücksichtigung der Zugkräfte entfallen, wenn diese von einem Zugelement aufgenommen werden.

Im Endzustand wird eine in Rohrlängsrichtung spannungsfreie Rohrbettung angenommen, sofern nicht auf Grund der Untersuchungsergebnisse während der Bauausführung andere Annahmen getroffen werden müssen.

Bei den untersuchten Deponien war der Innendurchmesser der vorhandenen Steinzeugrohre durchgehend kleiner als der Außendurchmesser der neuen PE Rohre und des Aufweitkörpers. In einer Berechnung wurde beispielhaft die Möglichkeit „Berstrakete fährt auf einem verbleibenden Steinzeugrest“ untersucht. Hierbei ergaben sich Zugspannungen > 21 N/mm² (Bild 16). Diese Zugspannung überschreitet die aufnehmbare Zugspannung eines Steinzeugrohres. Dieses rechnerische Ergebnis entspricht den vor Ort vorgefundenen Bedingungen, dass Steinzeugrohre beim dynamischen Berstlining zerstört werden und Riefen durch Steinzeugreste nicht auftreten. Bei den in Tabelle 4 genannten Verhältnissen der Durchmesser von Aufweitkörper und Altrohr muss daher

ein Steinzeuggest unter oder über dem neuen Rohr für dynamisches Berstlining rechnerisch nicht angenommen werden. Zum Einsatz des statischen Berstlining sind die Abschnitte 8.3 und 9.10 zu beachten.

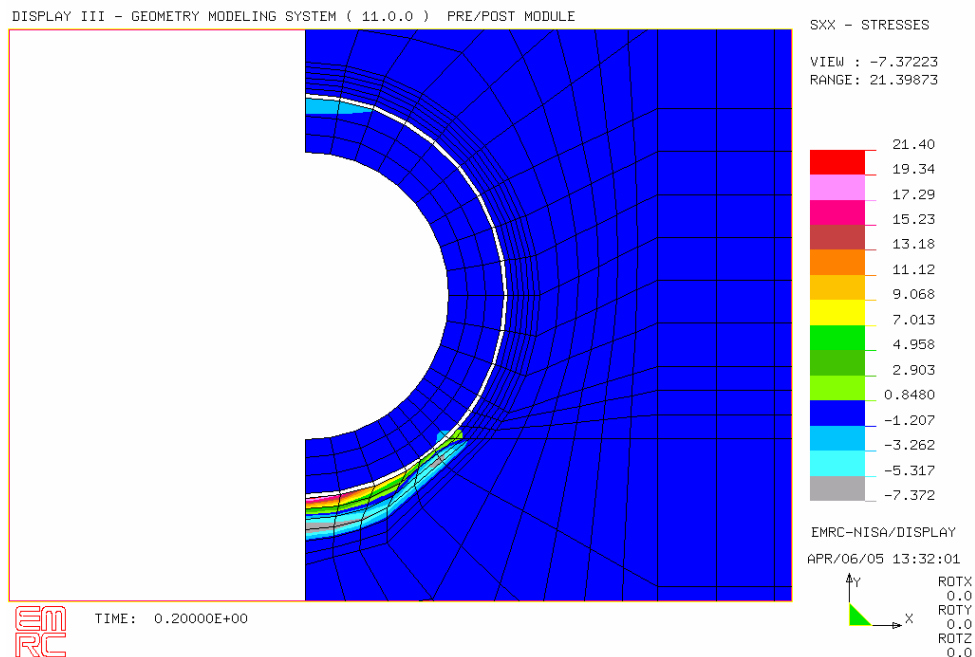


Bild 17 FEM Berechnung Rohr mit Steinzeuggest – Spannungen im Steinzeugrohr

Mit den Ergebnissen der Berechnungen müssen Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweise geführt werden. Für den Bauzustand müssen zusätzlich ein Interaktionsnachweis und ein Dehnungsnachweis für die Zugkraft und gegebenenfalls für den Biegeradius geführt werden. Beim Kurzrohrberstlining kann der Interaktionsnachweis entfallen, wenn ein kraftschlüssig wirkendes Zugelement im Strang vorhanden ist.

Bei allen Nachweisen müssen die Werte für den Elastizitäts- bzw. Verformungsmodul und die Grenzspannungen des Rohrmaterials unter Berücksichtigung der entsprechenden Abminderungsfaktoren für Medium, Temperatur und Alterung eingesetzt werden.

Beim Spannungsnachweis sind die erforderlichen Sicherheiten für Druck- und Zugspannungen, für End- und Bauzustand nachzuweisen. Für den Endzustand sind die Werte den Unterlagen /1/, /2/ und /4/ zu entnehmen. Für den Bauzustand können unseres Erachtens geringere Sicherheiten zugelassen werden. Zulässige Dehnungen können Unterlage /15/ entnommen werden. Beim Verformungsnachweis ist die zulässige Verformung gemäß den Unterlagen /1/, /2/ und /4/ einzuhalten. Der Stabilitätsnachweis kann nach /4/ mittels FEM Berechnung als nichtlinearer Spannungs- und Verformungsnachweis unter 2,0-facher Last oder analytisch z. B. nach /3/ geführt werden.

9. Zusammenfassung

- 9.1 Bei den bisherigen Untersuchungen und aus Kontakten zu Bauausführenden, Planern und Bauherren zeigte sich, dass mit dem Fragebogen, der die Ergebnisse des Berichtes Nr.1 (/6/) praktisch anwendbar machen sollte, ein wirksames Werkzeug geschaffen wurde, das von den planenden Ingenieurbüros angenommen wurde. Der Fragebogen ist daher in einer erweiterten Version diesem Bericht wiederum beigelegt. Außer der Angabe zur vorgesehenen Form des Berstlining wurde als dritter Teil ein Abschnitt über Maßnahmen zur Qualitätssicherung auf der Baustelle angefügt.
- 9.2 Da die bisherigen Materialuntersuchungen keine Hinweise auf negative Einflüsse der beiden neuen Berstverfahren zusätzlich zu den bekannten gegeben haben, kann bezüglich der Materialkennwerte wie bisher verfahren werden. Höhere Materialkennwerte für einzelne Rohrmaterialien als die in der ATV A 127 /1/ angegebenen sollen jedoch nicht angesetzt werden. Werden von Rohrherstellern oder den Herstellern des PE Materials Materialdaten angegeben, die für statische Berechnungen angesetzt werden, sind die 5 % Quantilwerte, die von einer anerkannten, akkreditierten Prüfinstitution ermittelt werden müssen, einzusetzen.

Die folgenden Mindestanforderungen müssen vom Rohrmaterial in jedem Fall eingehalten werden. Nachweise sind vorzulegen.

Kurzzeitkriechmodul	≥	800 N/mm ² bei 20 °C
Langzeitkriechmodul für 50 Jahre	≥	160 N/mm ² bei 20 °C
Kurzzeitgrenzbiegespannung	≥	21 N/mm ² bei 20 °C
Langzeitgrenzbiegespannung für 50 Jahre	≥	14 N/mm ² bei 20 °C
FNCT Wert	≥	1600 Stunden

Es wird empfohlen PE 100 Material, das den „Zulassungsgrundsätzen für Formmassen aus Polyethylen (PE 63, PE 80, PE 100)“ des DIBt entspricht, zu verwenden.

- 9.3 Noch einmal hervorgehoben werden muss, wie auch schon im ersten Bericht die Tatsache, dass Riefen vor dem eigentlichen Einziehvorgang beim Transport über die Deponie entstanden sind. Solche Riefen können mit der erforderlichen Sorgfalt auf einfache Art vermieden werden. Es ist daher erforderlich, dass eine Bauüberwachung des Einziehvorganges die Art des Transportes der Leitung zum Einsatzort aufnimmt und freigibt. Die Beschaffenheit der Rohroberfläche soll durchgehend kontrolliert werden, es muss eine Freigabe des Stranges durch die Fremdüberwachung vor dem Einziehen erfolgen. Geschädigte Teile müssen vor dem Bersten ausgetauscht werden.

Bei schwierigen Baustellen kann ein ummanteltes Rohr eingesetzt werden. Von PE-Rohrherstellern werden PE Rohre, die mit einer Ummantelung aus Polypropylen (PP) geschützt sind, angeboten. Der PP Mantel wird bei der Dimensionierung dieser Rohre nicht angesetzt, sondern dient als Verschleißschicht.

- 9.4 Die Anschlüsse der Sickerwasserdrainagen an vorhandene Deponiebauwerke (Schächte) sind sorgfältig unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten zu planen. Auf die Ergebnisse des zu diesem Thema im Zuge der Sanierungsarbeiten auf der Deponie Gallenbach durchgeführten Forschungsvorhabens wird hingewiesen. Es hat sich dort gezeigt, dass neben der ausreichenden Dimensionierung der Rohre unter dem Abfallkörper die Dimensionierung im Schachtbereich einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtstandsicherheit und die dauerhafte Kontrollierbarkeit des Sickerwassersystems ausübt. Außer der statischen Berechnung der Rohre sind Setzungsabschätzungen und eine auf die Ergebnisse dieser Abschätzungen abgestimmte konstruktive Ausbildung der Anschlüsse vorzusehen.
- 9.5 Die Ausführungsdauer von Berstliningmaßnahmen kann nicht exakt vorab angegeben werden. Berstzeiten von 20 h und mehr sind keine Seltenheit. Dies muss bei der Personalplanung berücksichtigt werden. Ein Abstellen und erneutes Anfahren des Berstvorganges sind wegen der zeitabhängigen Rückverformung des Hohlraumes des Überschchnitts nicht zulässig. Die voraussichtliche Ausführungsdauer ist beim Ansatz der Materialkennwerte für die Bauzustände zu berücksichtigen.
- 9.6 Zur Größe des gewählten Überschchnitts, das heißt zum Verhältnis von Außendurchmesser des Neurohres zum Außendurchmesser des Aufweitkörpers der Berstrakete, können der ausführenden Firma keine Vorschriften gemacht werden, da dieses Verhältnis Auswirkungen auf den Erfolg der Berstmaßnahme haben kann. Erfahrungsgemäß kann ein großer Wert zu einem ungleichmäßigen Rohrverlauf in Trassenlängsrichtung und damit zu Wassereinstau und Hochpunkten in der neuen Leitung führen. Für die zur Zeit verwendeten Aufweitkörper mit einem Außendurchmesser von 340 mm soll der Außendurchmesser des Neurohres nicht kleiner als 225 mm gewählt werden.
- 9.7 Beim Kurzrohrberstlining wird der Berstvorgang nach dem Einziehen eines Rohres kurz unterbrochen um das nächste Rohr dem Strang hinzuzufügen. Für dieses Verfahren, das im Kanalbereich unter den dort üblichen Überdeckungshöhen von 0,50 - 5,00 m im Allgemeinen einwandfrei funktioniert, zeigten sich bei der Anwendung in Gallenbach Schwierigkeiten unter der sehr hohen Auflast. Während mit Langrohrberstlining vom Deponierand aus eine Haltung problemlos saniert werden konnte, traten bei den im Kurzrohrberstlining sanierten Strecken durchgehend Schwierigkeiten auf. Vergleichbare Ergebnisse zeigten sich in der Deponie Am Lemberg. Dieser Tatsache wurde von den ausführenden Firmen Rechnung getragen. Nach dem Wissensstand des Verfassers sind bisher keine weiteren Maßnahmen mit Kurzrohrberstlining im Deponiebereich angeboten worden. Ist der Einsatz von Kurzrohrberstlining erforderlich, sind genaue Untersuchungen zum Zustand der Leitungszone – Abmessungen und mechanische Eigenschaften der Kiesrigole – den Ausschreibungsunterlagen beizufügen. Dem erhöhten Risiko soll durch die Aufnahme von Bergeschächten in das Leistungsverzeichnis Rechnung getragen werden. Wird der Rohrstrang nicht durch ein Zugglied verspannt, wird für die statische Vorbemessung der Rohre empfohlen die rechnerische Mantelreibung auf die Berstrohre gegenüber dem Ansatz beim dynamischen Bersten zu erhöhen. Diese Erhöhung muss in Abhängigkeit der Geometrie und der Beschaffenheit der Kiesrigole sowie unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Berstdauer gewählt werden.

- 9.8 Die hohen Zugkräfte beim statischen Berstlining können Auswirkungen auf die maximale Einziehlänge der Rohre haben. Dies betrifft insbesondere kleinere Rohrdurchmesser. Den vorhandenen Daten zu den Zugkräften beim Berstvorgang steht eine große Unsicherheit bezüglich der genauen Verteilung dieser Kräfte - zum Anteil der Mantelreibung auf die Rohre im Vergleich mit dem Anteil für die Verdrängung am Raketenkopf - gegenüber. Für die zum Zeitpunkt dieses Berichtes gängigen Maschinen, die beim Berstlining in Deponien eingesetzt werden, wird empfohlen PE Rohre mit einem Mindestausedurchmesser von ≥ 225 mm einzusetzen.
- 9.9 Für die neu einzuziehenden Rohre müssen Spannungs-, Verformungs- und Stabilitätsnachweise geführt werden. Für den Bauzustand müssen zusätzlich ein Interaktionsnachweis und ein Dehnungsnachweis geführt werden. Interaktionsnachweis und Dehnungsnachweis können für Kurzrohrberstlining im Allgemeinen entfallen.
- 9.10 Der Einsatz des statischen Berstlining ohne Kombination mit dynamischem Berstlining wird bei Altrohren aus den Rohrmaterialien Steinzeug oder Beton für Baumaßnahmen des Deponiebaus wegen der verbleibenden Scherben nicht empfohlen.

LGA Bautechnik GmbH
Institut für Statik

Der Bearbeiter:

Dr.-Ing. Albert Hoch, BD
Institut für Statik

Dipl.-Ing. Armin Stegner

Datenblatt 1 - Vorbemessung für die Planung

Deponie:

Ziel der Sanierung / Ursache(n) der Schäden am Altrohr

Bodenkennwerte

Bodenschicht	Material	Schicht- dicke h [m]	(alternativ)		Querdehn- zahl ν	Wichte γ [kN/m³]
			Verform.- mod. E_v [N/mm²]	Steife- modul E_s [N/mm²]		
Oberflächen- abdichtung						
Deponiegut						
Drainage- schicht						
Rohrbettung						
Mineralische Abdichtung						

Einbauzustand des Altrohres

Standard nach DIN 19667	
Sonderfall, Skizze siehe Seite	

Rohrabmessungen

Rohr	Außendurch- messer D_a [mm]	Wand- stärke t [mm]	Lochdurch- messer d_L [mm]	Lochabstand [mm]	
				Längsri.	Um- fangsri.
Neurohr					
Altrohr			=====	=====	=====
			==	==	=

Rohrmaterial

Neurohr / DIN		Altrohr	
PE100 / DIN 8074 - 8075		Steinzeug	
		PE	
		PVC	
.....			

Auslegungszeitraum

50 Jahre	
.....	

Auslegungstemperatur

40°C	
30°C	
.....	

Abminderungsfaktor Medien (Chemische Angriffe / Deponiesickerwasser)

Bauschutt	1,0	
Hausmüll	0,9	
Sondermüll		

Kleinster Biegeradius beim Einziehen

≥ 25 Da	
.....	

Einziehlänge

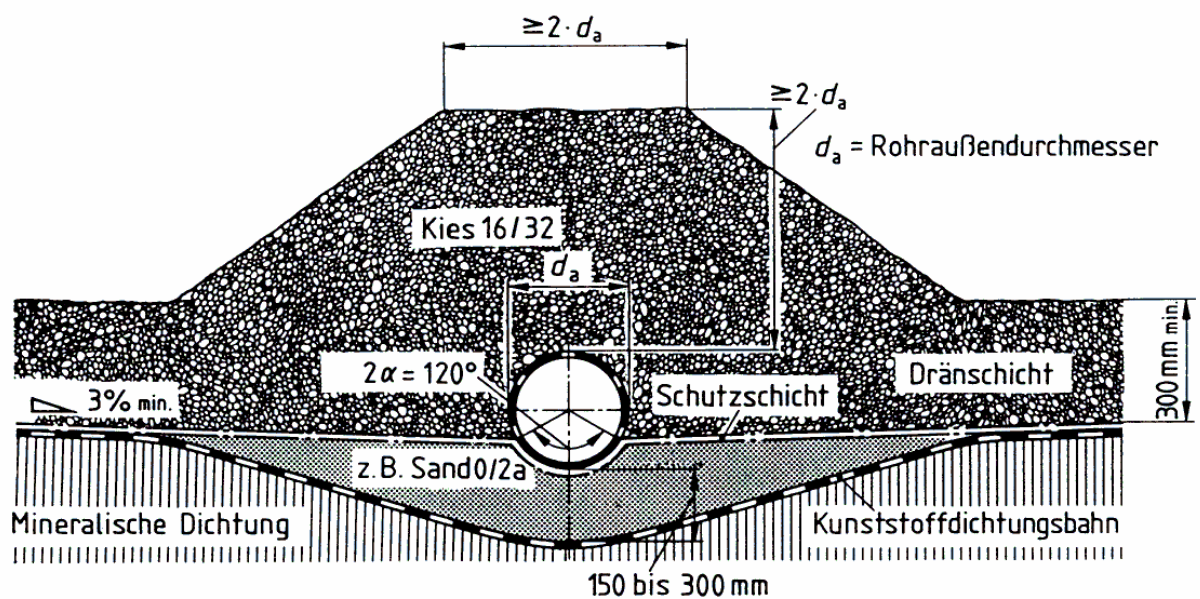
Lfd. Nr.	Strangbezeichnung	Einziehlänge L [m]
1		
2		
3		
4		
5		

Vorgesehene Art des Berstlining

dynamisch	
Statisch	
dyn./stat.	
Kaliber	

Darstellung der Leitungszone

Ausführungsbeispiel nach DIN 19667



Skizze der vorhandenen Leitungszone (Altrohr) falls abweichend von obiger Darstellung beifügen

Datenblatt 2 - Baustellenüberwachung für den Fremdüberwacher**Baustelleneinrichtung und Arbeitsschutz:**

Qualifikation der ausführenden Firma

Nachgewiesen durch:	
bekannt	
Referenzprojekte:	

Baustelle / Baustelleneinrichtung

Verfahrensanweisungen	
Verantwortlicher Bauleiter	
Verantwortlicher Polier	
Arbeitsschutz erfüllt	
Erforderliche Geräte vorhanden, gewartet, betriebsbereit	
Geschultes Bedienpersonal	

Lagerung und Material der Rohre

Materialzulassung (DIBt-Liste)	
QS Unterlagen der Rohrherstellung	
Kennzeichnung der Rohre	
Fachgerechte Lagerung /Lichtschutz	
Lagerungsdauer	
Grenzabmaße und Unrundheit	
Oberflächenbeschaffenheit	

Schweißeinrichtung und Schweißpersonal

Aktuell geschultes Personal	
Schweißprotokolle	

Berstvorgang (nur nicht im Datenblatt endgültige statische Berechnung enthaltene Vorgänge)

Rohrtransport

Zum Einsatzort	
Während des Berstens	

Anschließen der Berstrohre an das Entwässerungssystem

Beschreibung (evtl. Skizze beifügen):

Schweißprotokolle	
QS Unterlagen für Muffen	

Datenblatt 3 - endgültige statische Berechnung für die Dokumentation

Geometrie der entstandenen Leitungszone / Skizze(n) des aktuellen Zustandes einfügen

(z. B. Eintragen der Lage des Neurohres in eine zeichnerische Darstellung der alten Rohrleitungszone)

- falls vorhanden Fotos beifügen

- wurden Altrohrreste vorgefunden - wenn ja, wie groß und wo in der Leitungszone?
(Angabe für geberstete Kunststoffrohre in jedem Fall erforderlich)

Berstliningverfahren

Dynamisches Bersten	
Statisches Bersten	

Kleinster realisierter Biegeradius beim Einziehen

.....m

Gemessene Einzugskräfte

Lfd. Nr.	Strangbezeichnung	Max. Durchmesser Aufweitkörper [mm]	Max. Einzugskraft N [kN]
1			
2			
3			
4			
5			

Größe der Riefen und Kerben

Tiefe e [mm]	Breite b [mm]	Richtung		
		längs	Umfang	schräg

Ergebnisse der Kamerabefahrung der neuen Leitung

.....

Übergangsbereiche (Herstellung von Anschlüssen / Ausführung an Baugrubenausgängen)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Besonderheiten

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Dokumentation der Berstverläufe durch die ausführende Firma (Berstprotokolle)