PRÜFBERICHT P04926

Gelsenkirchen, 23. Mai 2014

Auftraggeber:	**Schacht + Trumme** **W. Schwarz GmbH** **Brückenstraße 3 - 5** **22926 Ahrensburg**
Prüfauftrag Nr.:	**P04926**
Bezeichnung des Prüfauftrags:	**Prüfung einer Schachtauskleidung**
Datum des Auftrages:	**18. April 2013**

Dieser Prüfbericht zur Baustellendokumentation besteht aus 24 Seiten.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Der Prüfbericht darf auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH vervielfältigt werden.

Dipl.-Ing. Dieter Homann
(Leiter der Prüfstelle)

Dipl.-Ing. Markus Gillar
(Projektleiter)

INHALTSVERZEICHNIS

1 Veranlassung und Versuchsprogramm 3

2 Vorgehensweise 3

3 Prüfung einer Schachtauskleidung im IKT-Großversuchsstand 4

3.1 Ausgangssituation – Vorgeschädigter Betonschacht 4

3.2 Dokumentation der Auskleidungsarbeiten 6

3.2.1 Vorbereitende Arbeiten 6

3.2.2 Einbau der Schachtauskleidung 6

3.2.3 Abschließende Arbeiten 13

3.3 Optische Überprüfung der Auskleidung 16

3.3.1 Zustand der Auskleidung unmittelbar nach dem Einbau 16

3.3.2 Zustand der Auskleidung bei Außenwasserdruckbelastung 18

3.4 Prüfung der Haftzugfestigkeit 20

3.5 Überprüfung der Materialdicken 23

4 Fazit 24

1 Veranlassung und Versuchsprogramm

Die Firma Schacht + Trumme W. Schwarz GmbH, Ahrensburg, beauftragte das IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH, Gelsenkirchen, mit der Prüfung einer Schachtauskleidung unter langzeitiger Außenwasserdruckbelastung. Die vom Auftraggeber entwickelte Auskleidung aus PE-HD wurde hierfür in ein von IKT-Mitarbeitern vorgeschädigtes Schachtbauwerk aus Betonfertigteilen im Großversuchsstand des IKT eingebaut. Das Versuchsprogramm umfasste im Einzelnen folgende Schritte:

- Begleitung und Dokumentation des Einbaus der Schachtauskleidung in einen Schacht aus Betonfertigteilen im Großversuchsstand des IKT.
- Aufbringen einer Außenwasserdruckbelastung auf die Auskleidung durch Fluten des Großversuchsstandes in zwei Stufen. Insgesamt stand der Wasserdruck für sechs Monate auf der Auskleidung.
- Visuelle Kontrolle der Auskleidung während der Außenwasserdruckbelastung.
- Prüfungen der Verbundfestigkeit der Auskleidung bzw. der Mörtelhinterfüllung mit der Schachtwand.

2 Vorgehensweise

Der Einbau der etwa drei Meter hohen Teil-Auskleidung in dem 5,5 m tiefen Schacht wurde durch eine Sanierungskolonne des Auftraggebers vorgenommen und dauerte in der Summe etwa zwei Arbeitstage. Die Mitarbeiter des Auftraggebers reisten am 22. April 2013 nachmittags an und richteten die Baustelle ein. An den folgenden 1,5 Werktagen wurde die Auskleidung eingebaut.

Einen Tag nach Fertigstellung der Auskleidung wurde dann der Wasserstand im Großversuchsstand angehoben bis auf eine Höhe von ca. 2 Meter über der Bodenplatte der Auskleidung. Dieser Wasserstand ist für eine Dauer von nahezu vier Monaten konstant gehalten und im Anschluss daran schrittweise auf 4,5 Meter erhöht worden. Diese erhöhte Außenwasserdruckbelastung wurde dann für eine Dauer von weiteren zwei Monaten gehalten.

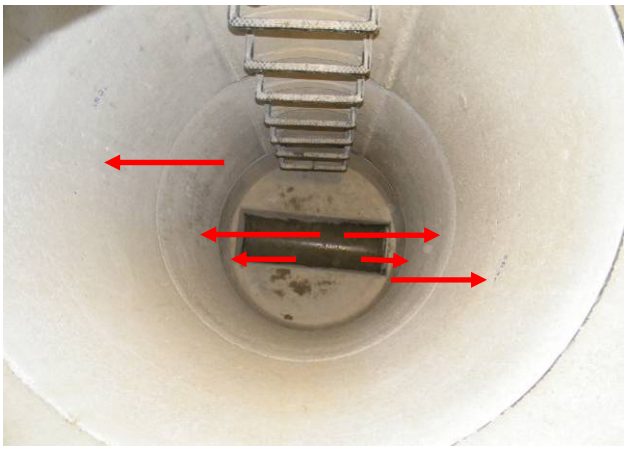
Mitarbeiter des IKT kontrollierten die Auskleidung regelmäßig auf Undichtigkeiten oder sonstige Auffälligkeiten. Die Ergebnisse der Sichtprüfungen und weiterer Qualitätsprüfungen sowie die Dokumentation des Einbaus und der vorherrschenden Randbedingungen sind Inhalt dieses Prüfberichts.

3 Prüfung einer Schachtauskleidung im IKT-Großversuchsstand

3.1 Ausgangssituation – Vorgeschädigter Betonschacht

Lage des Schachtes:	*IKT-Großversuchsstand, Gelsenkirchen*
Schachthöhe:	*ca. 5,5 m (Berme - Oberkante Schachtkonus)*
Anzahl Steigeisen:	*16, einläufig*
Schachtdurchmesser:	*DN 1000, Betonfertigteile (Ausgangszustand)*
Nennweite Ablauf:	*DN 300, Betonrohr mit GFK-Liner (Endschacht)*

A: *Lage des Schachtes im Großversuchsstand*



B: *Blick in den Betonschacht: Lage der Schadstellen (rote Pfeile)*

C: *Betongerinne und Ablauf mit einragendem GFK-Liner*

D: *Detailaufnahme des Übergangs von Liner und Schachtgerinne mit eindringendem Wasser aus dem Ringspalt (rote Markierung)*

Abb. 1: Schacht aus Betonfertigteilen - Ausgangssituation vor Einbau der Auskleidung

Das im Großversuchsstand des IKT eingebaute und auszukleidende Schachtbauwerk besteht aus Betonfertigteilen. Im Einzelnen sind dies ein Schachtunterteil sowie ein Schachtkörper aus vier Schachtringen von jeweils einem Meter Höhe und ein Schachtkonus als oberstes Bauteil (vgl. Abb. 1A und B). Insgesamt ergibt sich somit eine Schachthöhe von 5,5 m (Berme – Oberkante Schachtkonus). Das Schachtunterteil verfügt über einen Ablauf und zwei Bermen, die bis auf Scheitelhöhe des Zulaufs hochgezogen sind. In der Zulaufhaltung aus Betonrohren ist ein Schlauchliner aus GFK eingebaut, der ca. 2 cm in das Gerinne einragt (vgl. Abb. 1C). Der Anschluss des Liners an den Schacht ist undicht (vgl. Abb. 1D). Der Zugang in den Schacht erfolgt über einen einläufigen Steigbügelgang, bestehend aus 16 Steigbügeln.

A: *Lage von zwei Schadstellen (Undichtigkeiten) oberhalb des Ablaufs*

B: *Detailaufnahme einer Schadstelle*

Abb. 2: Planmäßig eingebaute Schäden im Schacht aus Betonfertigteilen

Um einen Außenwasserdruck auf die Auskleidung aufbringen zu können, wurde der Betonschacht an insgesamt sechs Stellen in einem festgelegten Raster durchbohrt (vgl. Abb. 2A). Jede dieser Stellen bildet eine flächige Undichtigkeit der Schachtwand und besteht aus neun Bohrlöchern von 6 mm Durchmesser auf einer Fläche von 20 x 20 cm (vgl. Abb. 2B). Dieses Schadensbild kam bereits beim Forschungsprojekt „Sanierung von Abwasserschächten“[a] zu Einsatz, bei dem Schachtsanierung mit Beschichtungsverfahren untersucht worden sind. Zwei dieser Schadensbilder liegen im Schachtunterteil, oberhalb des Ablaufs, sowie auf der gegenüberliegenden Wand. In den beiden darüber liegenden Schachtringen sind ebenfalls jeweils zwei dieser Schadensbilder in gleicher Weise angeordnet. In alle Bohrlöcher wurden Schaumstoff-Pfropfen eingebracht, um eine spätere Außenwasserdruckbelastung unmittelbar auf das Auskleidungssystem zu ermöglichen und zu vermeiden, dass die Löcher vollständig mit Vergussmörtel ausgefüllt werden. Eine Vorabdichtung der Schadstellen erfolgte nicht.

---

[a] *Liebscher, M., Gillar, M.: Sanierung von Abwasserschächten, IKT- Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, April 2011.*

3.2 Dokumentation der Auskleidungsarbeiten

3.2.1 Vorbereitende Arbeiten

Nach der Anreise der Sanierungskolonne am 22. April 2013 wurde die Baustelle auf dem Großversuchsstand (GVS) des IKT eingerichtet. Dabei legten die Mitarbeiter alle erforderlichen Geräte und Materialien für den Einbau der Auskleidung bereit (vgl. Abb. 3A). Zur infiltrationsdichten Anbindung der Auskleidung an den vorhandenen Schlauchliner überprüften die Mitarbeiter die Passgenauigkeit des vorkonfektionierten Stutzens mit einem Außendurchmesser von 285 mm. Aufgrund von Unebenheiten des Schlauchliners in der Haltung erwies sich der gewählte Durchmesser des Anschlussstutzens als zu groß, so dass er verkleinert werden musste (vgl. Abb. 3B).

A: *Baustelleneinrichtung auf dem GVS*

B: *Anpassen des Anschlussstutzens*

Abb. 3: Vorarbeiten vor Beginn der Schachtauskleidung

3.2.2 Einbau der Schachtauskleidung

Anpassen und Einsetzen des Anschlussstutzens

Am 23. April 2013 begannen die Sanierer mit dem Zuschnitt des Anschlussstutzens, indem sie einen Streifen in Längsrichtung aus dem Stutzen heraustrennten und ihn anschließend wieder mit einem kleineren Durchmesser zusammenschweißten. Hierfür wurden die zu schweißenden Flächen angeraut und mit einer Keil- und Decknaht zusammengefügt.

Nach einer Kontrolle der Passgenauigkeit des Stutzens in dem Rohranschlussbereich sägte der Mitarbeiter ein Stück des Stutzens ab (vgl. Abb. 4A) und passte ihn an die Gerinneform an. Anschließend werden die Dichtungen auf das Ende des Stutzens aufgebracht, mit denen die Außenseite des Stutzens gegen die bestehende Haltung abgedichtet wird. Dieses sind zwei Elastomerdichtungen, die auf das Ende aufgeschoben werden, und ein quellfähiges Dichtmaterial (Produktname: Quellflex, Vertriebsfirma: TPH), das zwischen den Elastomerdichtungen aufgetragen werden muss (vgl. Abb. 4B). Bevor sie den

Stutzen schließlich in den Rohranschluss mit einem Gummihammer einbrachten, reinigten die Mitarbeiter das Gerinne und den Rohranschlussbereich mittels Staubsauger und feuchten Tüchern.

A: *An die Randbedingungen angepasster Stutzen* ***B:*** *Anpassen des Anschlussstutzens*

Abb. 4: Arbeiten zur Anpassung des Anschlussstutzens

Einbau der Gerinnehalbschale

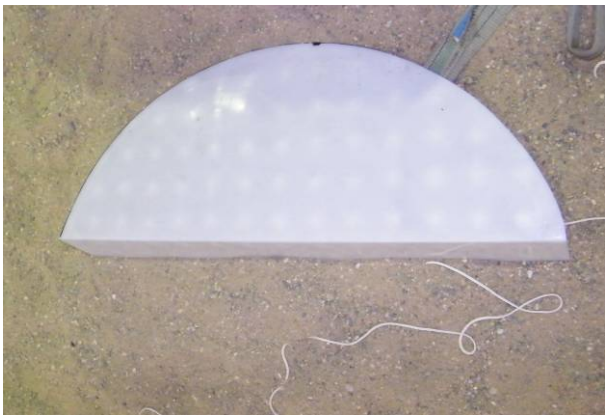
Für die Auskleidung des Schachtgerinnes wird eine in ihrer Länge (hier: ca. 0,7 m lang) an die örtlichen Verhältnisse angepasste Halbschale aus einem PE-HD-Rohr hergestellt, in den Schacht hinunter gelassen und mit dem Anschlussstutzen durch eine Keil- und Decknaht verschweißt (vgl. Abb. 5A). Abb. 5B zeigt das ausgekleidete Gerinne.

A: *Anschweißen der Halbschale an den Stutzen* ***B:*** *Fertiggestelltes Gerinne*

Abb. 5: Montage der Gerinnehalbschale

Montage der Bermenauskleidung

Da das Schachtunterteil einschließlich der Bermen nicht mechanisch bearbeitet werden durfte, mussten die Mitarbeiter die Auskleidungselemente (vgl. Abb. 6A) bearbeiten, um ein Gefälle zum Gerinne hin herstellen und die Elemente passgenau einbauen zu können. Im Einzelnen verlängerten die Mitarbeiter die Elemente um jeweils etwa 3 cm. Das Gefälle stellten sie her, in dem sie zum Einen zwei Reihen der Verankerungsnoppen (in Gerinnenähe) entfernten und zum Anderen auf der gegenüber liegenden Seite die Elemente mit ca. 2 cm dicken Ziegelstein-Abschnitten unterfütterten (vgl. Abb. 6B).



A: *Element für die Auskleidung einer Berme*

B: *Ziegelstein-Abschnitte zur Unterfütterung*

C: *Anpassen des Auskleidungselements mittels Stichsäge*

D: *Setzten eines „Blindstopfens“ gegenüber des Ablaufs*

Abb. 6: Montage der Bermenauskleidung

Mittels Stichsäge entfernte der Monteur noch überstehende Stellen an den Bermen-Elementen für einen passgenauen Einbau (vgl. Abb. 6C). Anschließend musste ein „Blindstopfen“ gegenüber dem Ablauf in das Gerinne eingesetzt werden, um eine vollständige Auskleidung zu gewährleisten (vgl. Abb. 6D). Die einzelnen Teile werden jeweils mit einer Keil- und Decknaht aneinander geschweißt. Die Oberflächen der Schweißnähte werden mit einem Winkelschleifer abgeschliffen und geglättet. Nach den Schleifarbeiten wird der Staub entfernt.

Einbau des Passrings

Der Passring ist das Übergangselement in der Auskleidung, das den horizontalen Bereich von Bermen und Rohranbindung mit dem untersten vertikalen Auskleidungselement verbindet. Der Passring besitzt hier einen Innendurchmesser von 96 cm und ist etwa 10 cm hoch. Nach dem Ausrichten des Rings schweißte der Mitarbeiter diesen in zwei Arbeitsgängen an die unterhalb liegenden Auskleidungselemente (vgl. Abb. 7).

A: *Ausgerichteter Passring während des Schweißvorgangs*

B: *Detailaufnahme des Schweißvorgangs*

Abb. 7: Einbau des Passrings

Verdämmen der Schachtboden-Auskleidung

Der nächste Arbeitsschritt bei der Herstellung der Schachtauskleidung ist das Hinterfüllen der eingebauten PE-HD-Auskleidung mit einem schnell abbindenden Vergussmörtel (hier: systemzugehöriger Schnellvergussmörtel S +T - Fix). Die Herstellung dieses Vergussmörtels erfolgt stets in derselben Arbeitsweise und wird nachfolgend exemplarisch beschrieben.

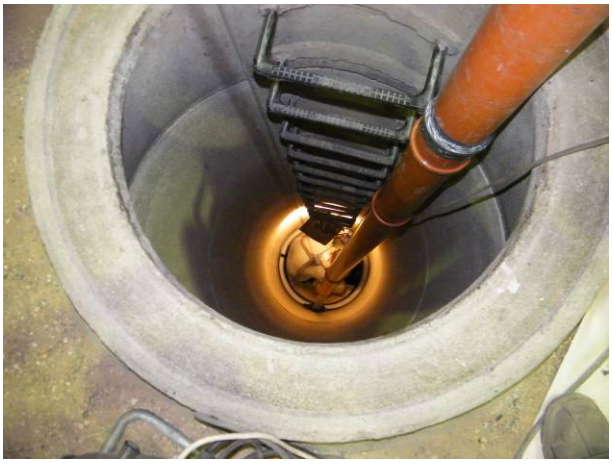
1. Vorlegen des Anmachwassers (hier: 5,6 Liter Wasser für 25 kg Trockenmörtel),
2. Zugeben eines vollständigen Gebindes Trockenmörtel (vgl. Abb. 8A),
3. Mischen mit einem Doppelwellenmischer, eine Minute lang (vgl. Abb. 8B),
4. Einfüllen des Vergussmörtels in den Ringraum (vgl. Abb. 8C und D).

Ein Mitarbeiter der Firma verbleibt während des Hinterfüll-Vorgangs im Schacht zur Kontrolle und als „Auftriebssicherung“. Nach Angaben des Auftraggebers ist der Mörtel in ca. acht Minuten soweit ausgehärtet, dass an der Auskleidung weitergearbeitet werden kann. Der Mörtel wird bis zu einer Höhe von etwa drei Zentimetern unterhalb des Randes des jeweiligen Auskleidungselements eingebracht.

A: *Einfüllen des Trockenmörtels in das vorgelegte Anmachwasser*

B: *Mischen des Vergussmörtels*

C: *Einbringen des Mörtels in den Ringraum*



D: *Blick in den Schacht während der Ringraum-Verdämmung*

Abb. 8: Einbau der Verdämmung im Schachtunterteil

Montage der Schachtwandung

Die Auskleidung wird durch vorkonfektionierte PE-HD-Ringe, die an ihren Stoßkanten überlappend angeordnet sind, sukzessive von unten nach oben in den Schacht eingebaut. Die flexiblen PE-HD-Ringe besitzen einen Innendurchmesser von 96 bis 97 cm und eine Bauhöhe von 98 cm.

Vor dem Einbau der Auskleidung müssen die vorhandenen Steigbügel entfernt werden. Im Rahmen dieser Sanierung benutzten die Mitarbeiter dazu eine Trennscheibe, mit der sie die Steigbügel entfernen und die zurückliegenden Verankerungen nahezu bündig zur Schachtwandung abschleifen konnten. Darüber hinaus werden im Überlappungsbereich der einzelnen Auskleidungselemente die Verankerungsnoppen entfernt (vgl. Abb. 9A). Dies betrifft die äußeren zwei bis drei Noppenreihen, was einer Breite von etwa fünf Zentimetern entspricht.

A: *Entfernen der Verankerungsnoppen im Überlappungsbereich der Elemente*

B: *Falten des PE-HD-Rings vor dem Einbringen in den Schacht durch den Konus*

Abb. 9: Vorbereiten der Auskleidungselemente für die Schachtwandung

Bevor das jeweilige Ring-Auskleidungselement durch die Schachtöffnung in den Schacht herunter gelassen werden kann, wird es in eine U-Form gefaltet (vgl. Abb. 9B) und fixiert.

Im Schacht wird der gefaltete PE-HD-Ring in seine Kreisform gebracht (vgl. Abb. 10A) und an der Wandung für die nachfolgenden Schweißarbeiten am Passring (Schachtsohle) ausgerichtet und mit Holzkeilen fixiert (vgl. Abb. 10B). Auf diese Weise kann ein nahezu

einheitlicher Abstand von der Schachtwand hergestellt und das Befüllrohr für den Vergussmörtel angesetzt werden.

A: *Entfalten des PE-HD-Rings*

B: *Fixieren des PE-HD-Rings vor dem Schweißen und Hinterfüllen mit Vergussmörtel*

Abb. 10: Ausrichten eines Auskleidungselements im Schacht

Wenn Unebenheiten an den Rändern der Auskleidungselemente vorhanden sind, werden diese mittels Trennscheibe oder Stichsäge entfernt, so dass die Elemente miteinander verschweißt werden können. Hierzu ist ein Anrauhen der zu schweißenden Flächen erforderlich. Die Schleif- und Fräsrückstände werden anschließend entfernt.

Die Auskleidungselemente werden wiederum in zwei Schritten miteinander verschweißt, zuerst die Keil- und nachfolgend die Decknaht. Anschließend wird der neu entstandene Ringraum mit dem Vergussmörtel (Herstellungsweise wie bereits zuvor beschrieben) verfüllt.

Die vorab beschriebene Einbauweise der Auskleidung des Schachtes wird zwei weitere Male wiederholt, so dass der Schacht im Ergebnis bis zu einer Höhe von etwa drei Metern über Berme ausgekleidet ist. Die für diesen Schacht vorgesehene Auskleidung ist somit nahezu fertig gestellt. Insgesamt haben die Mitarbeiter 21 Gebinde Trockenmörtel für die Herstellung der Vergussmasse verarbeitet.

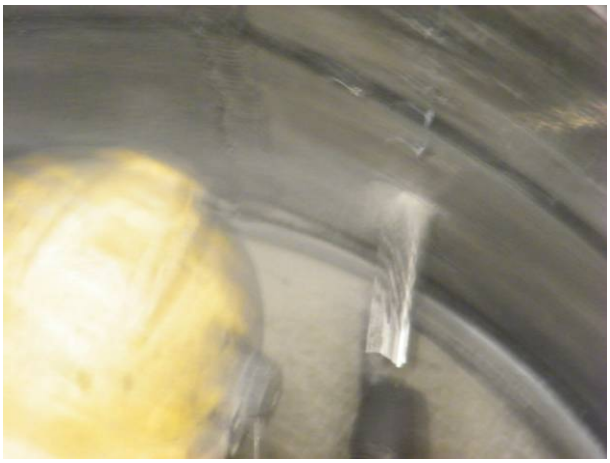
3.2.3 Abschließende Arbeiten

Zur vollständigen Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit des Schachtes bzw. der Auskleidung sind noch folgende Arbeiten auszuführen:

- Einbauen von Steigbügeln,
- Auftragen einer dauerelastischen Dichtfuge im Übergangsbereich von Auskleidung und vorhandener Betonwandung,
- Kontrollieren der Auskleidung auf Fehlstellen.

Für den Einbau der Steigbügel orientierten sich die Sanierer an dem Steigmaß und der Ausrichtung der noch vorhandenen Steigbügel oberhalb der Auskleidung. Dazu maßen sie die Abstände ein (vgl. Abb. 11A), markierten die Stellen für die einzelnen Bohrungen mittels Körnerspitze und bohrten die erforderlichen Löcher mittels Schlagbohrmaschine (vgl. Abb. 11B).

A: *Einmessen des Steiggangs*



B: *Bohren der Löcher für die Aufnahmen der Steigbügel*

C: *Einschlagen der einzelnen Steigbügel*

D: *Verschweißen der Steigbügelummantelung mit der Schachtauskleidung*

Abb. 11: Einbau der Steigbügel

Nachdem das Bohrmehl abgesaugt wurde, schlugen die Mitarbeiter die Steigbügel in die vorgebohrten Löcher ein (vgl. Abb. 11C) und verschweißten anschließend die PE-Ummantelung der Steigbügel mit der PE-HD-Auskleidung (vgl. Abb. 11D). Im Anschluss an den Einbau der Steigbügel brachte der Sanierer im Schacht ein dauerelastisches Material im Übergangsbereich von Auskleidung und Betonschachtwand auf (vgl. Abb. 12).

A: *Austragen der Dichtmasse*

B: *Verstreichen bzw. Anformen der Dichtmasse von Hand*

Abb. 12: Abdichten des Übergangsbereichs von Auskleidung und Betonwandung

Nach Abschluss der vorab beschriebenen Arbeiten war die Auskleidung bis zu einer Höhe von 2,8 m über Berme hergestellt. Im Anschluss kontrollierten die beiden Sanierungsmitarbeiter das Gewerk mittels optischer Inspektion und räumten schließlich die Baustelle.

A: *Blick in den Schacht mit Auskleidung*

B: *Sanierungskolonne aus 2 Mitarbeitern (mit Firmeninhaber, Mitte)*

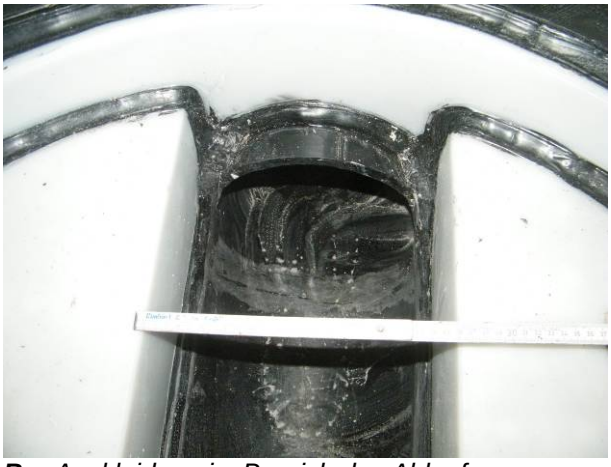
Abb. 13: Fertiggestellte Schachtauskleidung (Höhe ca. 3,0 m)

3.3 Optische Überprüfung der Auskleidung

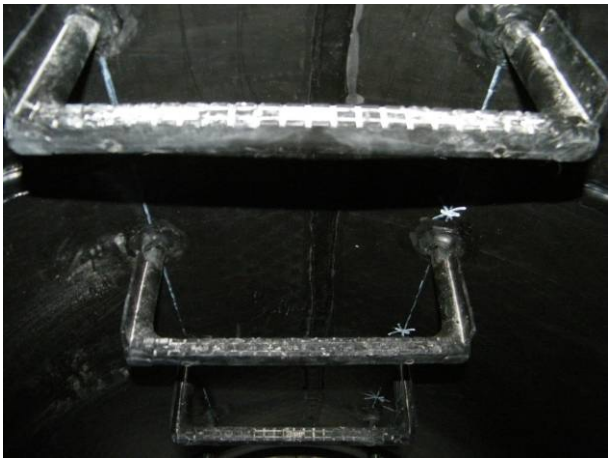
3.3.1 Zustand der Auskleidung unmittelbar nach dem Einbau

Die nachfolgenden Bilder in Abb. 14 zeigen die Auskleidung im Schacht unmittelbar nach ihrer Herstellung.

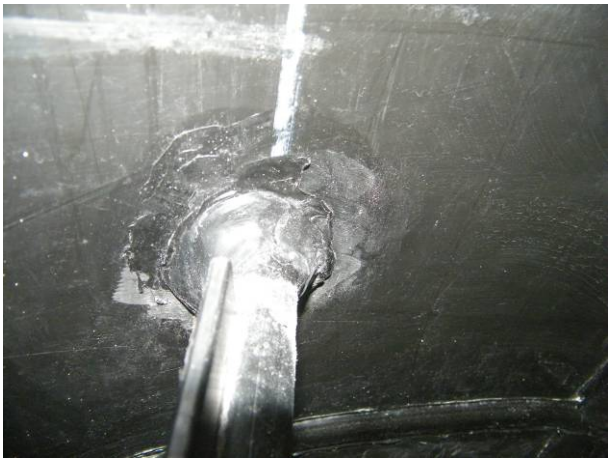
A: *Blick in den teilsanierten Schacht*



B: *Auskleidung im Bereich des Ablaufs*



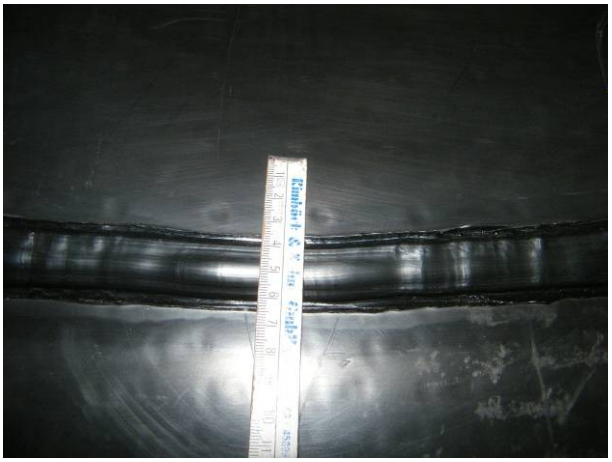
C: *Neu eingesetzte Steigbügel*



D: *Detailaufnahme einer mit der Auskleidung verschweißten Steigbügelanbindung*

E: *Detailaufnahme Übergangsbereich Berme-Wandung (Passring) mit Schweißnähten*

F: *Ansicht einer Schweißnaht von zwei PE-Elementen*



G: *Detailaufnahme einer Schweißnaht*

H: *Übergangsbereich von Auskleidung zur Betonwandung*

Abb. 14: Optische Überprüfung der Auskleidung unmittelbar nach ihrer Herstellung

Die optische Inspektion der Auskleidung unmittelbar nach dem Einbauführt zu folgenden Erkenntnissen:

- Die PE-HD-Auskleidung wurde in den Schacht bis zu einer Höhe von 2,8 m über Berme eingebaut (vgl. Abb. 14A).
- Die Oberfläche der Auskleidung ist bis auf die Schweißnähte vergleichsweise glatt und ohne visuell erkennbare Auffälligkeiten (vgl. Abb. 14F und G).
- Bei einem stichprobenhaften Abklopfen der Auskleidung konnten keine Risse und Hohlstellen festgestellt werden.
- Alle Steigbügelanbindungen im sanierten Bereich sind vollständig mit der Auskleidung verschweißt (vgl. Abb. 14C und D).
- Die Auskleidung ist bündig und vollständig an den Ablauf angebunden (vgl. Abb. 14B).

<u>Ergebnis:</u>

Die optische Inspektion der Auskleidung zeigt keine Auffälligkeiten oder Fehlstellen, die auf eine Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit und der Dichtheit schließen lassen. Die Qualität der Auskleidung entspricht den Vorgaben des Herstellers bzw. Auftraggebers.

3.3.2 Zustand der Auskleidung bei Außenwasserdruckbelastung

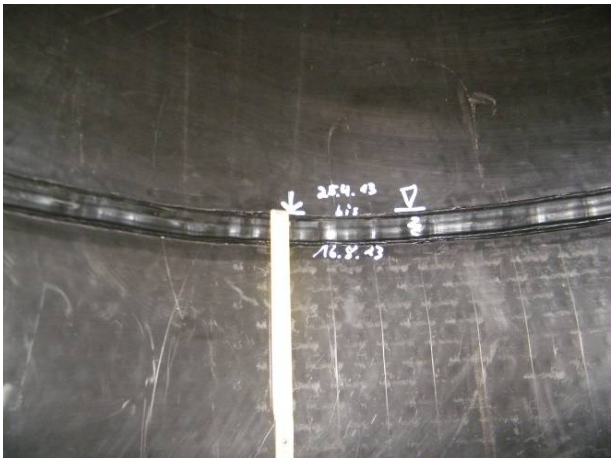
Für die Außenwasserdruckbelastung der Auskleidung im Großversuchsstand des IKT wurden folgende Wasserstände eingestellt:

1. Wasserstand ca. 2,0 m über Berme für eine Dauer von vier Monaten,
2. Wasserstand innerhalb einer Woche stufenweise von ca. 2,0 m auf bis zu 4,5 m über Berme erhöht,
3. Wasserstand ca. 4,5 m über Berme für eine Dauer von zwei Monaten.

Bereits ab einer Höhe von 2,0 m steht Grundwasser an allen Bohrlöchern des Betonschachtes (vgl. Abb. 1 und 2) an, so dass der Wasserdruck die Auskleidung einschließlich Vergussmörtel belastet. In der Summe wurde die Auskleidung über einen Zeitraum von ca. einem halben Jahr durch Außenwasserdruck beaufschlagt. Die nachfolgenden Bilder zeigen den Zustand der Auskleidung während dieser Zeit (vgl. Abb. 15).

A: *Blick in den Schacht zum Ende der Außenwasserdruckbelastung von 2 Metern*

B: *Auskleidung im Bereich des Ablaufs*



C: *Ansicht einer Schweißnaht mit Markierung des Wasserstands von 2,0 m*

D: *Detailaufnahme einer Schweißnaht*

E: *Dichte Schweißnähte der Steigbügel*

F: *Dichte Auskleidung des Schachtunterteils*

Abb. 15: Optische Überprüfung der Auskleidung während der Außenwasserdruckbelastung im Prüfzeitraum von ca. sechs Monaten

Der visuell feststellbare Zustand der Auskleidung sowie deren Dichtheit haben sich während der Außenwasserdruckbelastung mit unterschiedlichen Wasserständen nicht verändert. Die Auskleidung ist dicht und ohne visuell erkennbare Auffälligkeiten.

Lediglich im unsanierten, nicht ausgekleideten Bereich des Schachtes zeigten sich Infiltrationen an vier Steigbügeln der Betonfertigteilringe sowie an einer Schachtringverbindung (vgl. Abb. 16).

A: *Undichte Schachtringfuge oberhalb der Auskleidung, Fließspuren unterhalb des Betonfertigteils*

B: *Vier Undichtigkeiten an Steigbügeln oberhalb der Auskleidung*

Abb. 16: Undichtigkeiten im Schacht oberhalb der Auskleidung bei einem Wasserstand von ca. 4,5 m über Berme

<u>Ergebnis:</u>

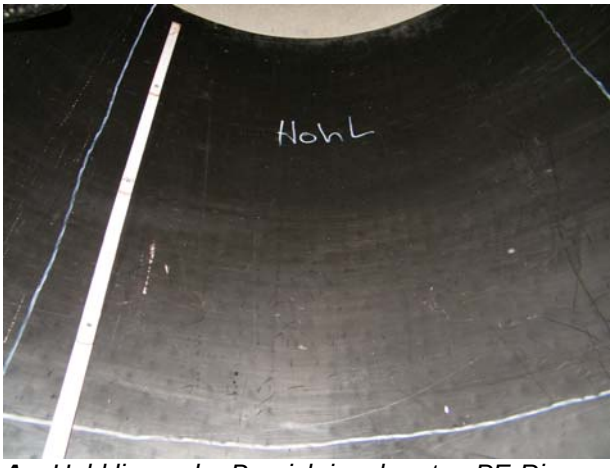
Während der gesamten Prüfzeit mit anstehendem Grundwasser zeigte die Auskleidung keine Undichtigkeiten und keine visuell erkennbaren Veränderungen gegenüber ihrem Einbauzustand.

3.4 Prüfung der Haftzugfestigkeit

Zum Zeitpunkt der Haftzugprüfung war das Wasser aus dem Versuchsstand bereits abgelassen worden. Da bekannt ist, dass bei anstehendem Grundwasser Hohllagen durch Abklopfen mit einem Hammer nicht in jedem Fall eindeutig lokalisiert werden können, klopfte ein Mitarbeiter des IKT unmittelbar vor Ausführung der Haftzugprüfungen die Auskleidung erneut stichprobenhaft ab und fand die nachstehend dargestellten Bereiche mit Hohlstellen:

1. Hohllage im obersten PE-HD-Ring von 1 bis 4 Uhr am Umfang (Steiggang bei 12 Uhr), Höhe ca. 70 cm (vgl. Abb. 17A);
2. Hohllage im Übergangsbereich zwischen Auskleidung und Betonschachtwand über den gesamten Umfang mit einer Höhe von ca. 20 cm (vgl. Abb. 17A);
3. Hohllage ober- und unterhalb (vgl. Abb. 17B) der Schweißnaht zwischen mittlerem und oberem PE-HD-Ring, Lage am Umfang von 10 bis 12 Uhr sowie von 3 bis 4 Uhr, jeweils mit einer Höhe von ca. 20 cm.

Da im Bereich der Hohllagen nicht mit einem festen Verbund zwischen Auskleidung und Vergussmörtel bzw. Vergussmörtel und Untergrund zu rechnen ist, wurden innerhalb dieser Bereiche keine Haftzugprüfungen vorgenommen.



A: *Hohl liegender Bereich im obersten PE-Ring*

B: *Hohlstelle unterhalb einer Schweißnaht*

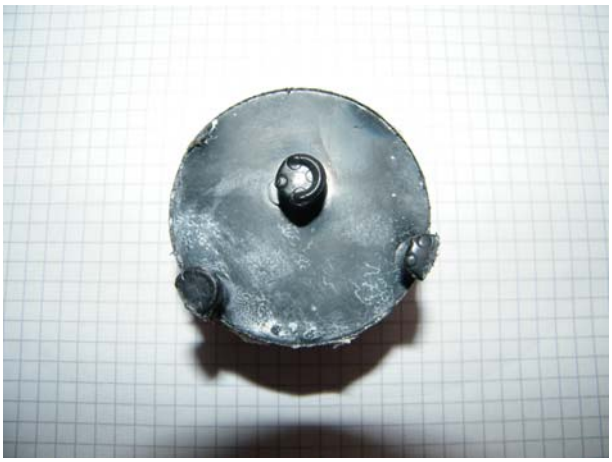
Abb. 17: Beispiele für Hohlstellen hinter der Auskleidung

Die Haftzugfestigkeit der Auskleidung (einschließlich des Vergussmörtels) wurde durch fünf Einzelprüfungen in Anlehnung an die Instandsetzungs-Richtlinie des DAfStb[a] ermittelt. Die Lage der Prüfstellen und die Ergebnisse sind der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen. Im Wesentlichen sind drei unterschiedliche Versagensarten bei der Prüfung festzustellen:

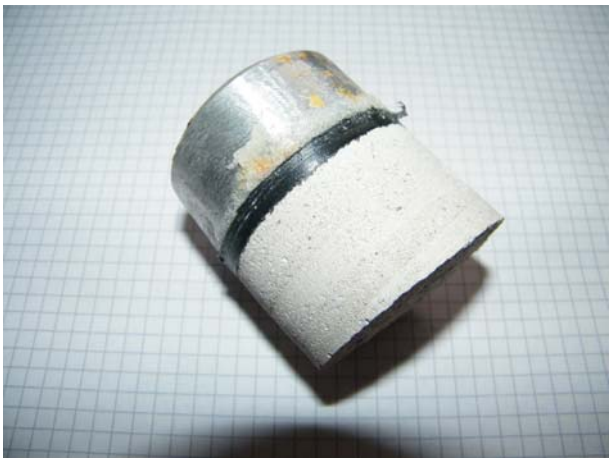
1. Versagen zwischen PE-HD-Auskleidung und Vergussmörtel (vgl. Abb. 18A). In diesem Fall haftet der Vergussmörtel nach der Prüfung noch an der Schachtwand, so dass die Haftzugprüfung ein zweites Mal durchgeführt werde kann. Hierfür wird der Prüfstempel erneut aufgeklebt, diesmal allerdings direkt auf den Vergussmörtel. In der Tabelle sind diese Prüfungen dann mit „Nachprüfung“ gekennzeichnet (vgl. Punkt 2.).

2. Bei einer Nachprüfung (s.a. Punkt 1) kann es dann zu einem Versagen zwischen Vergussmörtel und Schachtwand, einem Versagen innerhalb des Vergussmörtels oder in der Klebefuge kommen.

3. Versagen zwischen PE-HD-Auskleidung mit Vergussmörtel und Schachtwand (vgl. Abb. 18B).



A: *Versagen zwischen PE-HD-Material und Vergussmörtel*



B: *Versagen zwischen Vergussmörtel und Schachtwand aus Beton*

Abb. 18: Beispiele für Bruch-Versagensarten bei der Haftzugprüfung

[a] *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): DAfStb-Richtlinie, Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2001.*

Tabelle 1: Ergebnisse der Haftzugprüfungen an der Auskleidung (DAfStb-Richtlinie)

Probenbe-zeichnung	Lage der Prüfstelle[1]	**Haftzugfestigkeit**		
		Bruchstelle	Einzelwert [N/mm²]	Mittelwert [N/mm²]
1	Ca. 1,1 m über Berme, ca. 2 Uhr	100 % zwischen PE-Auskleidung und Vergussmörtel	0,44	**0,44**
Nachprüfung 1.1		*10 % im Vergussmörtel, 90 % in der Klebefuge*[2]	*(> 1,33)*	
2	Ca. 0,8 m über Berme, ca. 2 Uhr	100 % im Verbundbereich zwischen Vergussmörtel und Betonschachtwand	0,35	
3	Ca. 0,8 m über Berme, ca. 3 Uhr	100 % im Verbundbereich zwischen Vergussmörtel und Betonschachtwand	0,34	
4	Ca. 1,4 m über Berme, ca. 3 Uhr	100 % zwischen PE-Auskleidung und Vergussmörtel	0,54	
Nachprüfung 4.1		*10 % im Vergussmörtel, 90 % in der Klebefuge*[2]	*(> 1,06)*	
5	Ca. 0,8 m über Berme, ca. 5 Uhr	100 % zwischen PE-Auskleidung und Vergussmörtel	0,52	
Nachprüfung 5.1		*90 % im Vergussmörtel, 10 % in der Klebefuge*	*(0,73)*	

1) Ausgehend von der Lage des Steigbügelgangs bei 12 Uhr
2) Bei einem Bruch in der Klebefuge mit > 50 % Flächenanteil wird der Messwert der Haftzugfestigkeit ebenfalls mit einem „>“-Zeichen versehen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Haftzugfestigkeit über dem hier gemessenen Wert liegt, also größer ist.

Ergebnis:

Der Gesamtmittelwert aller Prüfungen (ohne Nachprüfungen) liegt bei 0,44 N/mm². Mit Blick auf die Ergebnisse und die Versagensarten bei der Prüfung können die gemessenen Verbundfestigkeiten folgendermaßen bewertet werden:

An den Prüfstellen 1, 4 und 5 wird die PE-HD-Auskleidung bei Aufbringen einer Haftzugspannung von ca. 0,4 bis 0,5 N/mm² von dem Vergussmörtel abgelöst. Dabei werden die Verankerungsnoppen aus dem Vergussmörtel herausgezogen.

Eine Nachprüfung des Vergussmörtels unterhalb der bereits herausgezogenen PE-Auskleidung liefert dann in der Nachprüfung deutlich höhere Haftzugfestigkeiten, die zwischen 0,7 und > 1,3 N/mm² liegen.

Bei einem vollständigen, gemeinsamen Abreißen der Auskleidung mit dem Vergussmörtel (Prüfstellen 2 und 3, vgl. Abb. 18B) liegen die Messwerte der Haftzugfestigkeit lediglich bei etwa 0,3 N/mm².

3.5 Überprüfung der Materialdicken

Die Dicke des Auskleidungsmaterials und des Vergussmörtels wurde an fünf über die Schachtwandung verteilten Stellen überprüft. An den Probekörpern der Haftzugprüfungen wurden jeweils drei Messungen durchgeführt und die minimale und die maximale Beschichtungsdicke sowie der Mittelwert bestimmt. Die Prüfergebnisse sind der nachfolgenden Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Schichtdickenprüfung

Proben-bezeichnung	Lage der Prüfstelle[a]	**gemessene Schichtdicke von PE-Auskleidung / Vergussmörtel[mm]**		
		minimal	maximal	**Mittelwert Standardabweichung**
1	Ca. 1,1 m über Berme, ca. 2 Uhr	5,0 / -[b]	5,2 / -[b]	**4,8 / 30,8 ± 0,3 / 3,3**
2	Ca. 0,8 m über Berme, ca. 2 Uhr	4,6 / 26,7	5,4 / 28,8	
3	Ca. 0,8 m über Berme, ca. 3 Uhr	4,4 / 29,4	5,3 / 30,3	
4	Ca. 1,4 m über Berme, ca. 3 Uhr	4,4 / -[b]	4,8 / -[b]	
5	Ca. 0,8 m über Berme, ca. 5 Uhr	4,3 / 34,2	4,9 / 36,2	

a) Ausgehend von der Lage des Steigbügelgangs bei 12 Uhr

b) Vergussmörtel wurde bei der Prüfung nicht von der Schachtwand gelöst, Schichtdickenmessung daher nicht möglich!

<u>Ergebnis:</u>

Die mittlere Dicke der PE-Auskleidung beträgt 4,8 mm mit einer geringen Standardabweichung von 0,3 mm. Die mittlere Dicke des Vergussmörtels liegt bei knapp 31 mm mit einer Bandbreite der einzelnen Messwerte von 26,7 mm bis 36,2 mm (Variationskoeffizient: 10,6 %).

4 Fazit

Um die Eignung ihrer Schachtauskleidung unter Außenwasserdruckbelastungen zu überprüfen, sanierte die Firma Schacht + Trumme W. Schwarz GmbH einen durch flächige Undichtigkeiten vorgeschädigten Betonschacht im Großversuchsstand des IKT. Nach einer Installationsdauer von ca. 1,5 Tagen wurde ein Außenwasserdruck von 2,0 m bis zu 4,5 m über Berme für einen Zeitraum von insgesamt sechs Monaten aufgebracht. Eine Vorabdichtung der planmäßig eingebauten Schadstellen im zu sanierenden Betonschacht erfolgte nicht, so dass der Wasserdruck an den Schadstellen unmittelbar auf die Auskleidung wirken konnte.

Die Auskleidung besitzt eine sehr glatte, ebene und dichte Oberfläche aus PE-HD. Auch die neu eingebauten Steigbügel sind mit PE-HD ummantelt und an die Auskleidung durch Schweißen angebunden. Visuelle Kontrollen der Auskleidung über den Prüfzeitraum sowie nach Ende der Außenwasserdruckbelastung zeigten keine Undichtigkeiten oder sonstige Auffälligkeiten. Auch die Einbindestellen der neu eingebauten Steigbügel waren dicht.

Die Verbundfestigkeit der PE-Auskleidung und des Vergussmörtels mit der Schachtwand liegt im Mittelwert aller Prüfstellen bei 0,4 N/mm². Trotz dieses vergleichsweise geringen Wertes liefern die vorliegenden Untersuchungen über einen Zeitraum von sechs Monaten keinerlei Hinweise, dass dies zu einer Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit und Dichtheit der Auskleidung führt.

Für Beschichtungen wird heute üblicherweise ein Mittelwert von 1,5 N/mm² gefordert. Für reine Kunststoffauskleidungen muss dagegen gemäß der „Zulassungsgrundsätze für die Auswahl und Anwendung von Innenauskleidungen“ des Deutschen Instituts für Bautechnik ein Wert von lediglich 0,05 N/mm² eingehalten werden.