



IKT - Institut für
Unterirdische Infrastruktur

Anhang zum Endbericht

Abnahme von Liningmaßnahmen

*- Materialnachweise und
Bewertung der Liningqualität -*

VERZEICHNIS DES ANHANGS

- ANHANG 1:** ZUSTANDSKATALOG SCHLAUCHLINERAUFFÄLLIGKEITEN
- ANHANG 2:** AKTUELLE BAUMAßNAHMEN
– DOKUMENTATIONEN UND ERGEBNISSE DER ABNAHME
- ANHANG 3:** NACHBEPROBUNGEN
– PRÜFERGEBNISSE NACH MEHRJÄHRIGEM BETRIEB
- ANHANG 4:** STATISCHE BERECHUNGEN NACH MERKBLATT ATV-M 127-2
(FACHHOCHSCHULE MÜNSTER, FACHBEREICH BAUINGENIEURWESEN,
PROF. DR.-ING. B. FALTER)

Anhang 1: Zustandskatalog

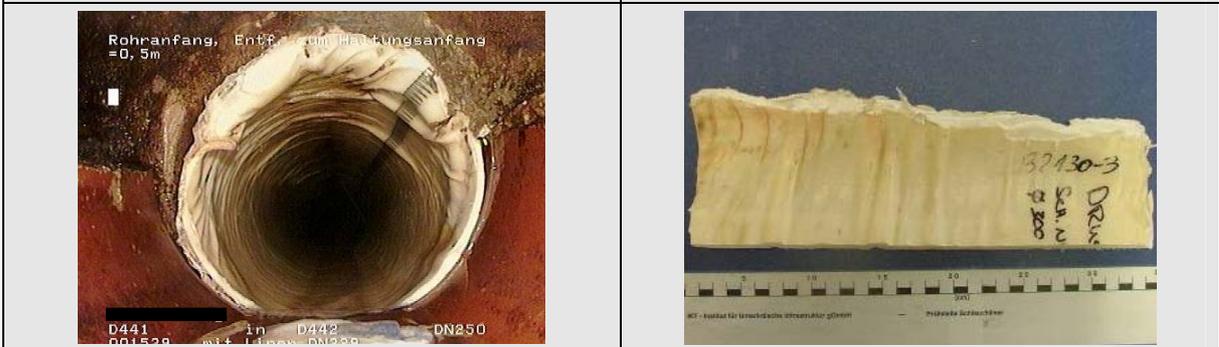
Auffälligkeiten bei Schlauchlinern

1. Geometrische Abweichungen

a) Wellige Oberflächenstruktur

Beschreibung:

Strukturierte, i. d. R. faltige Innenbeschichtungen (NF), die mit Harz gefüllt sind (keine Hohlstellen), in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte; keine Faltenbildung im Sinne von geometrischen Imperfektionen (vgl. Katalog-Nr. 1d „Örtlich begrenzte Vorverformungen“); Abgrenzung von deutlich ausgeprägteren Falten in Quer- und Längsrichtung; i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u.)

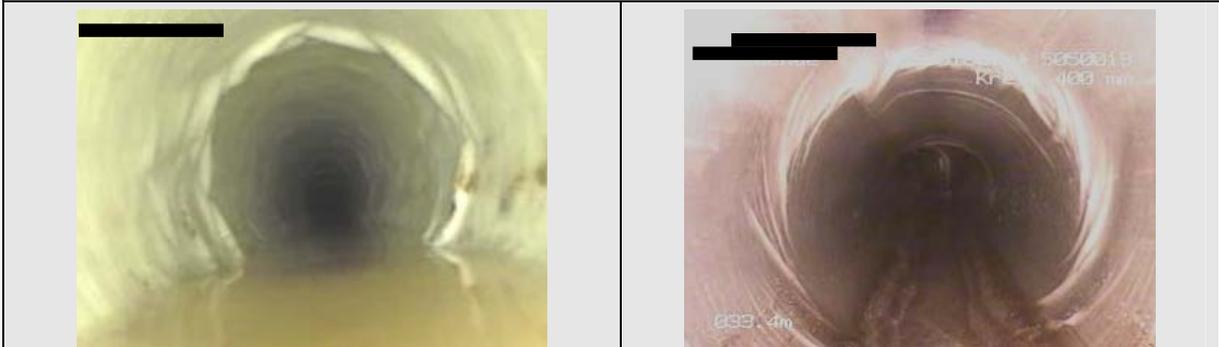


1. Geometrische Abweichungen

b) Querfalten

Beschreibung:

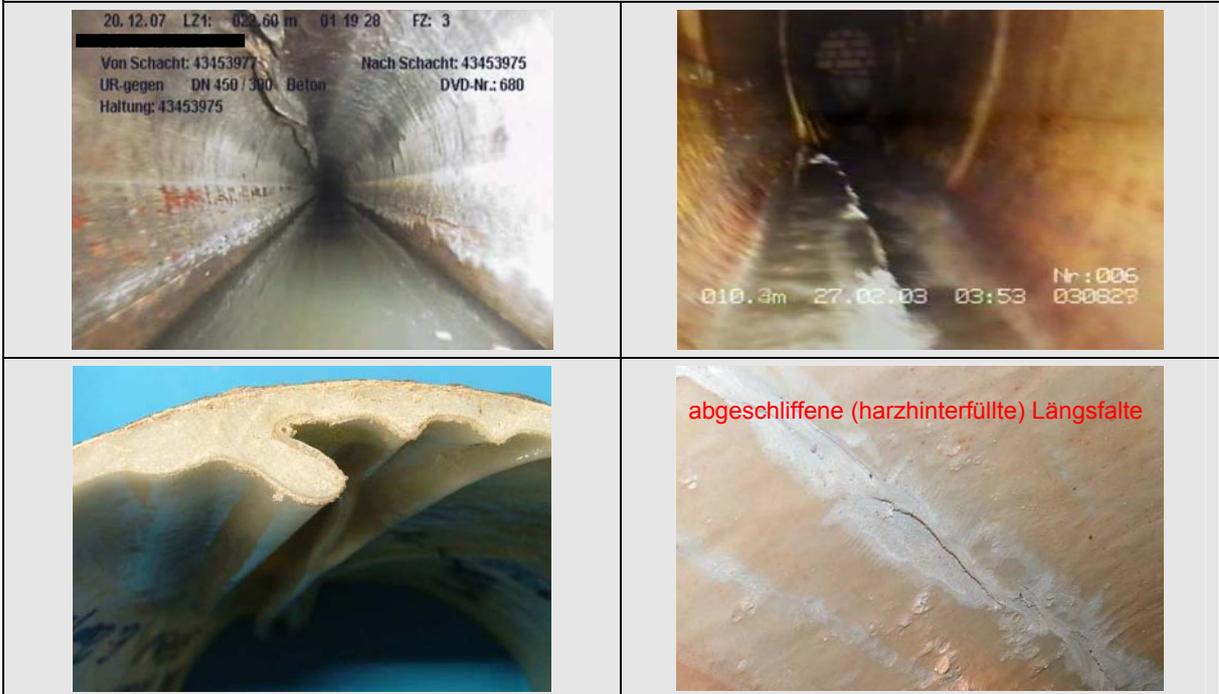
In Umfangsrichtung verlaufende Falten, umlaufend oder auf Sohl-, Kämpfer- und/oder Scheitelbereich beschränkt; mit unterschiedlichen geometrischen Ausprägungen (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u.); Faltenbildung deutlich ausgeprägter als bei welligen Oberflächenstrukturen; i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



1. Geometrische Abweichungen

c) Längsfalten (harzhinterfüllt)

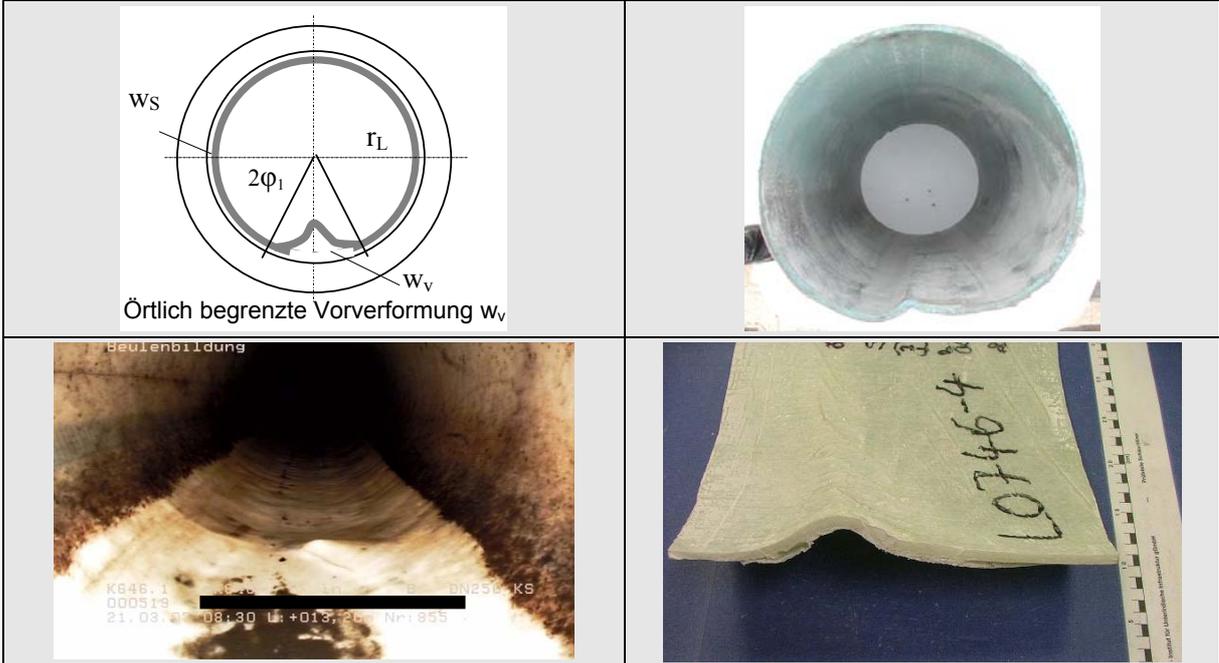
Beschreibung:
 Axial verlaufende Falten (harzhinterfüllt), unterschiedlich ausgeprägt, Verlauf in Sohl-, Kämpfer- und/oder Scheitelbereich möglich (vgl. Bild l. o., Bild r. o. und Bild l. u.); keine Faltenbildung im Sinne von geometrischen Imperfektionen (vgl. Katalog-Nr. 1d „Örtlich begrenzte Vorverformungen“) ⇒ keine Hohlstellen, Trägermaterial (scheinbar) nicht beeinträchtigt (vgl. Bild r. u.); i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



1. Geometrische Abweichungen

d) Örtlich begrenzte Vorverformungen (geometrische Imperfektionen)

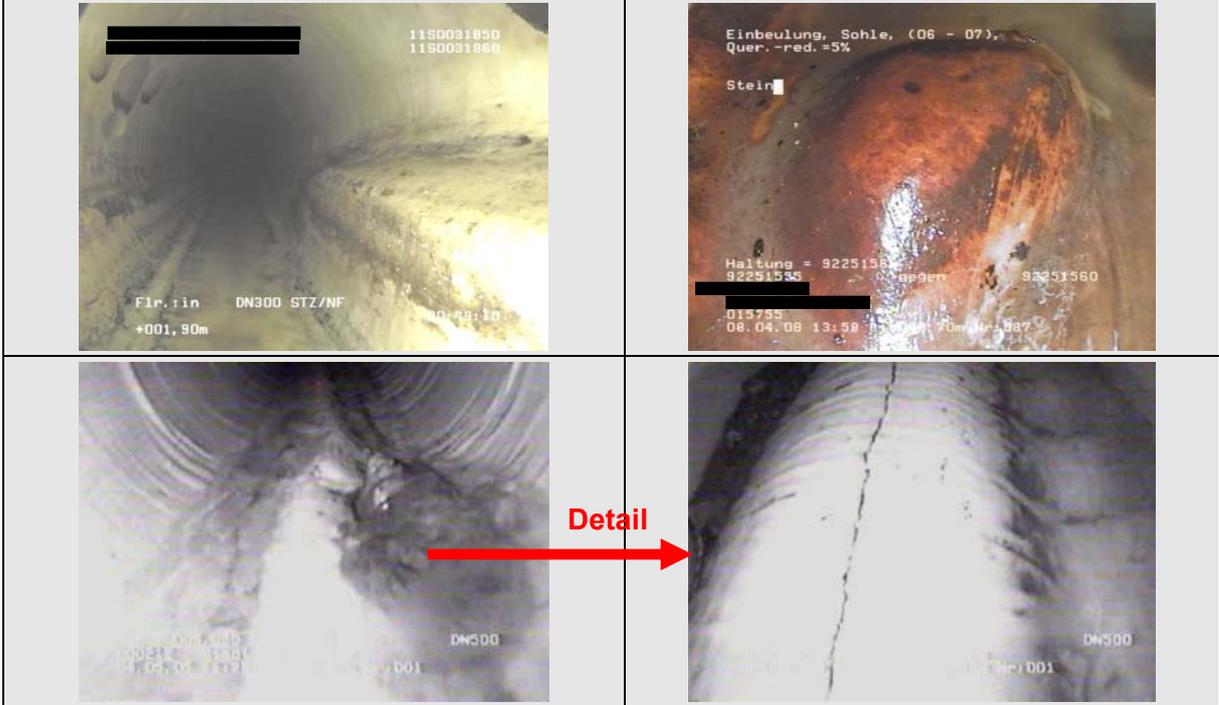
Beschreibung:
 Statisch relevante einbaubedingte Vorverformungen, wie z. B. örtlich begrenzte (nicht harzhinterfüllte) Falten und Beulen mit Hohlräumen (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u.); unmittelbar nach Einbau vorhanden
Anmerkung: Zu den geometrischen Imperfektionen zählt auch ein vorhandener Ringspalt, jedoch liegen für die Bildung eines auffälligen Ringspalts keine Beispiele vor, da eine In-situ-Vermessung nach derzeitigem Kenntnisstand nahezu unmöglich ist



1. Geometrische Abweichungen

e) (Nachträgliche) lokale oder durchgängige Ausbeulungen

Beschreibung:
 Ausbeulungen des Liners, im Laufe der Betriebsdauer entstanden (z. B. erkennbare Veränderung zwischen Bau- und Gewährleistungsabnahme), daher Abgrenzung von geometrischen Imperfektionen; Ausprägung der Beulen lokal (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.) und durchgängig (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.), d. h. auch über die gesamte Haltung möglich

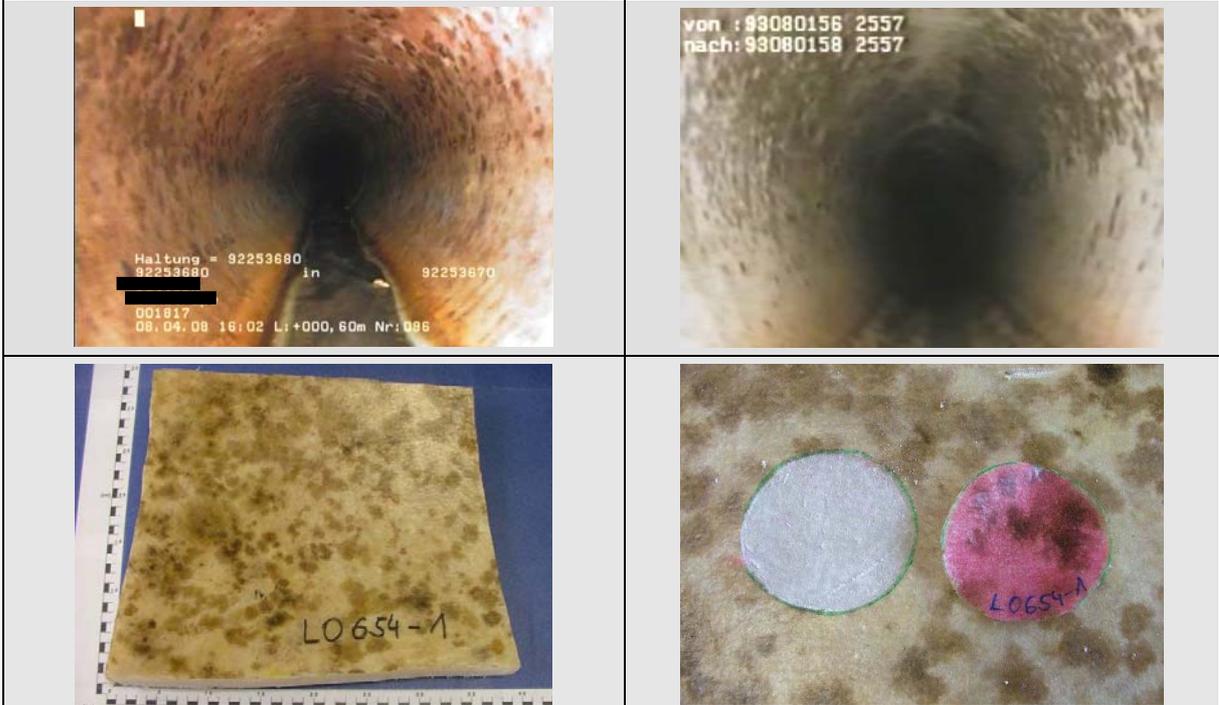


2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

a) Verfärbungen an der Linerinnenseite

Beschreibung:

Fleckenartige Verfärbungen im Bereich der Innenbeschichtung in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte, die farblich vom restlichen Linermaterial abweichen (vgl. Bild l. o., Bild r. o., Bild l. u. und Bild r. u); nur bei in Betrieb befindlichen Linern vorgefunden (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen); i. d. R. nur bei NF, da die Innenbeschichtung im Kanal verbleibt

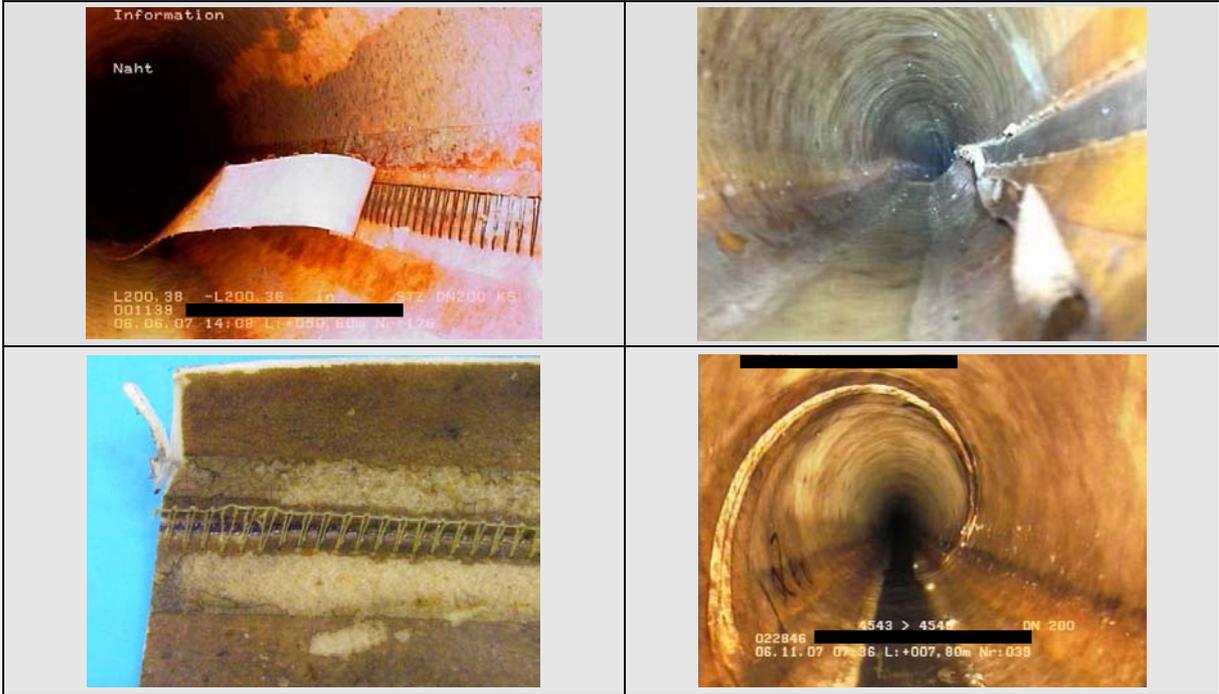


2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

b) Nahtbereiche

Beschreibung:

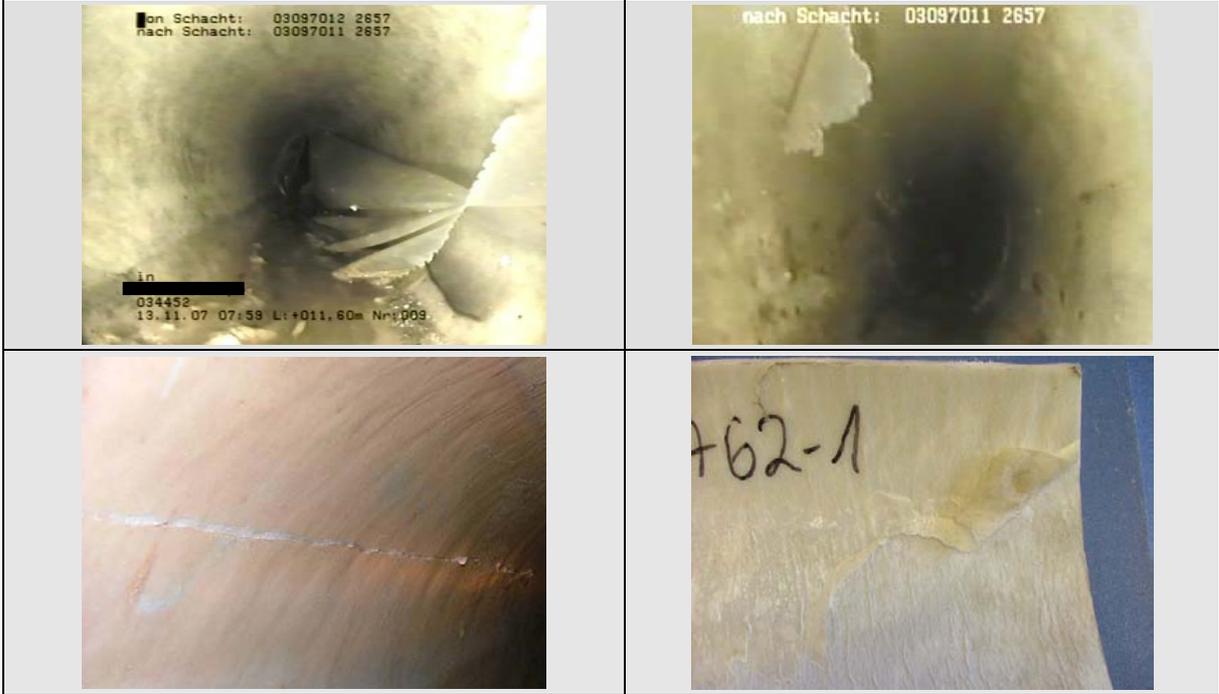
Nahtstellen kommen zum Vorschein (nur bei NF-Linern), teilweise Ablösungen der Nahtüberdeckung (vgl. Bild l. o.) und der Innenbeschichtung (vgl. Bild r. o., Bild l. u.); i. d. R. nur bei in Betrieb befindlichen Linern zu beobachten (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen); aber auch: spiralförmig verlaufende Nähte bei NF-Linern unmittelbar nach Einbau feststellbar (vgl. Bild r. u.)



2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

c) Innenfolien und -beschichtungen

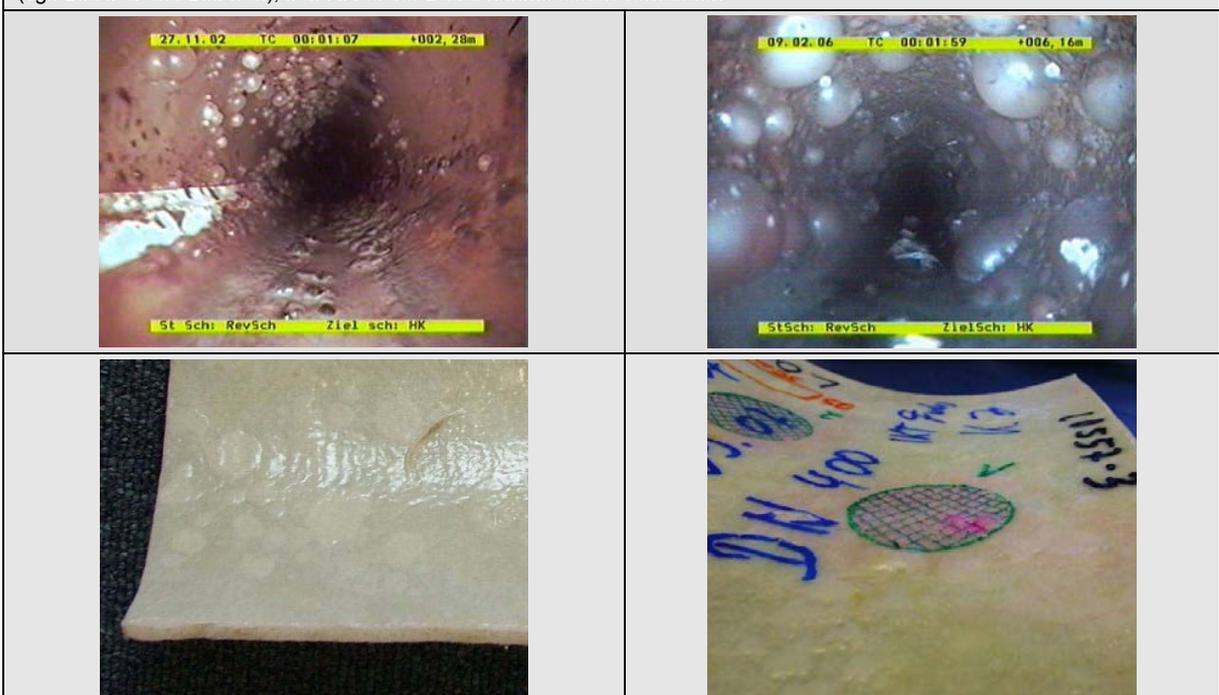
Beschreibung:
 Fall 1 (Innenfolie wird nach Linereinbau entfernt, z. B. bei GFK-Linern):
 Innenfolie unvollständig bzw. gar nicht entfernt (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.), Folienreste frei liegend im Kanal
 Fall 2 (Innenbeschichtung verbleibt im Kanal, z. B. bei NF-Linern):
 Risse und Ablösungen sind zu erkennen (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

d) Blasen

Beschreibung:
 Blasenbildung im Bereich der Innenbeschichtung in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte; z. T. deutlich ausgeprägt (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.); aber auch: feine Blasenbildung, die z. T. nur an Probekörpern im Labor erkennbar sind (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.); i. d. R. bei der Bauabnahme schon vorhanden



2. Auffälligkeiten an der Linerinnenwand

e) Ablösungen von Wandungsteilen

Beschreibung:
 Ablösungen von Glasfaserschichten aus der Linerwand, i. d. R. im Sohlbereich (vgl. Bild l. o., Bild l. u. und Bild r. u.) und z. T. im Kämpferbereich (vgl. Bild r. o.) beobachtet; nur bei in Betrieb befindlichen Linern vorgefunden (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen)

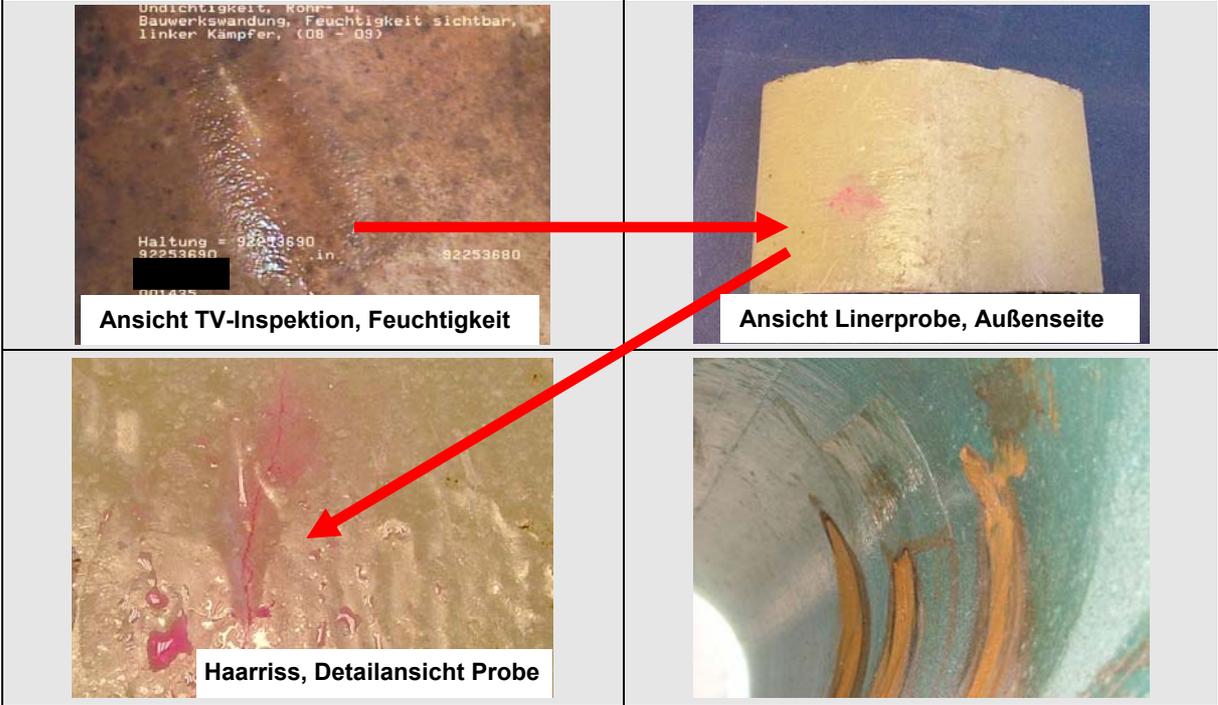


3. Offensichtliche Undichtigkeiten

a) Infiltrationen durch die Linerwand

Beschreibung:

Eindringendes Wasser durch die Linerwandung, mit unterschiedlicher Ausprägung, wie z. B. eine Tropfenbildung an der Linerinnenwand (Fallbeispiel: Vermutete Undichtigkeit infolge eines Haarrisses im Labor nachgewiesen, vgl. Bild l. o., vgl. Bild r. o. und Bild l. u.); aber auch Infiltrationen mit deutlich erkennbaren Wasserstrahl sind möglich (vgl. Bild r. u. – braune Ablagerungen als deutliches Anzeichen für massive Undichtigkeiten)



3. Offensichtliche Undichtigkeiten

b) Fehlfräsungen

Beschreibung:

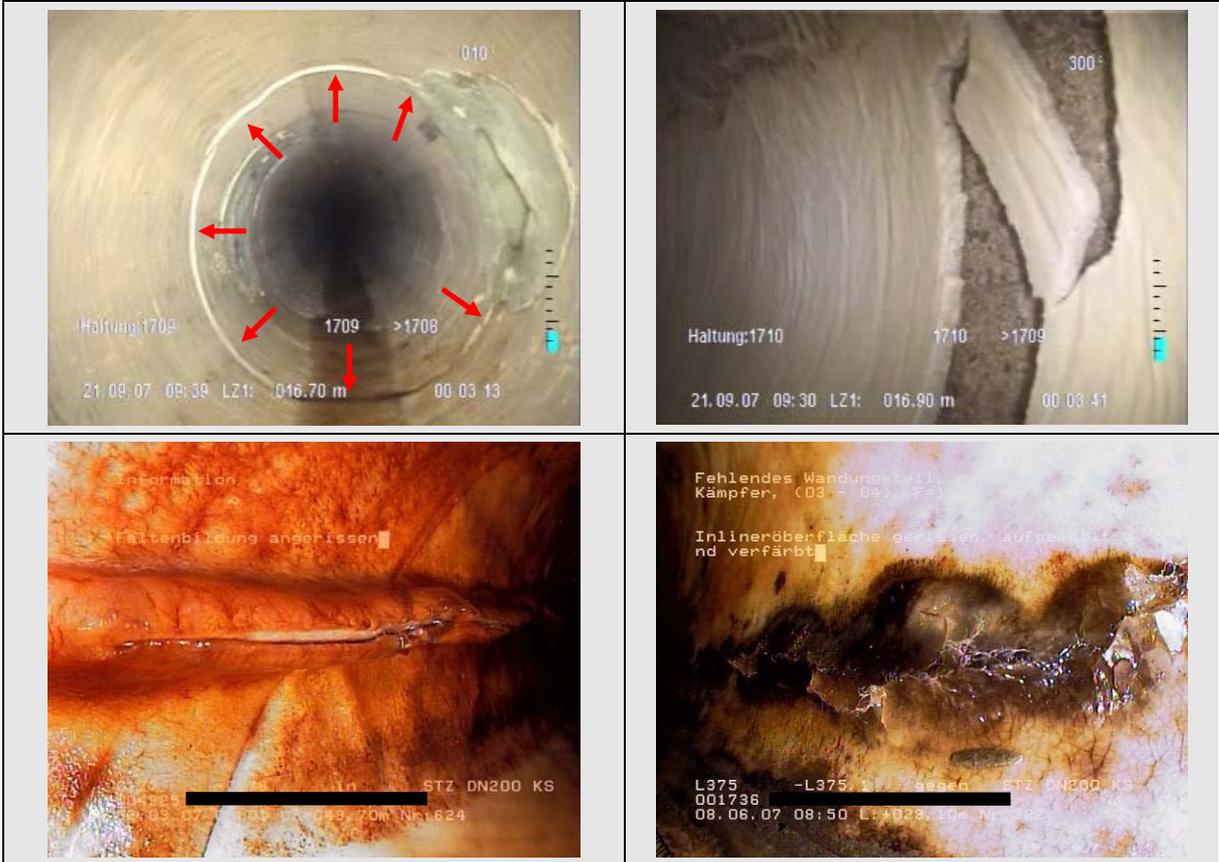
Altrohr kommt hinter falsch eingemessenen, gefrästen Bereichen zum Vorschein; bei anstehendem Grundwasser sind Infiltrationen möglich (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.); tritt in der Praxis selten auf, laut Aussagen ausführender Fachfirmen aber nicht immer zu vermeiden; i. d. R. treten Fehlfräsungen vereinzelt auf, aber auch Extrembeispiele sind dokumentiert (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



3. Offensichtliche Undichtigkeiten

c) Linerrisse

Beschreibung:
 Fall 1: In Umfangsrichtung verlaufender Riss, Altrhr sichtbar (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.)
 Fall 2: Lokal auftretende Risse, in Längs- und Querrichtung möglich (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)



4. Lineranbindungen

a) Auffällige seitliche Zuläufe

Beschreibung:

Auffälligkeiten an seitlichen Zuläufen treten in unterschiedlichen Erscheinungen auf, wie z. B. Rückstände von Verpressharz als einragendes Hindernis in den Kanal (vgl. Bild l. o.), deutlich erkennbare Faltenbildungen im Anschlusskanal (vgl. Bild r. o.), Fehlfürsungen in unmittelbarer Nähe zum seitlichen Zulauf (vgl. Bild l. u.), fehlende Hutprofile bzw. Anbindungen mittels Verpresstechnik (vgl. Bild r. u.)

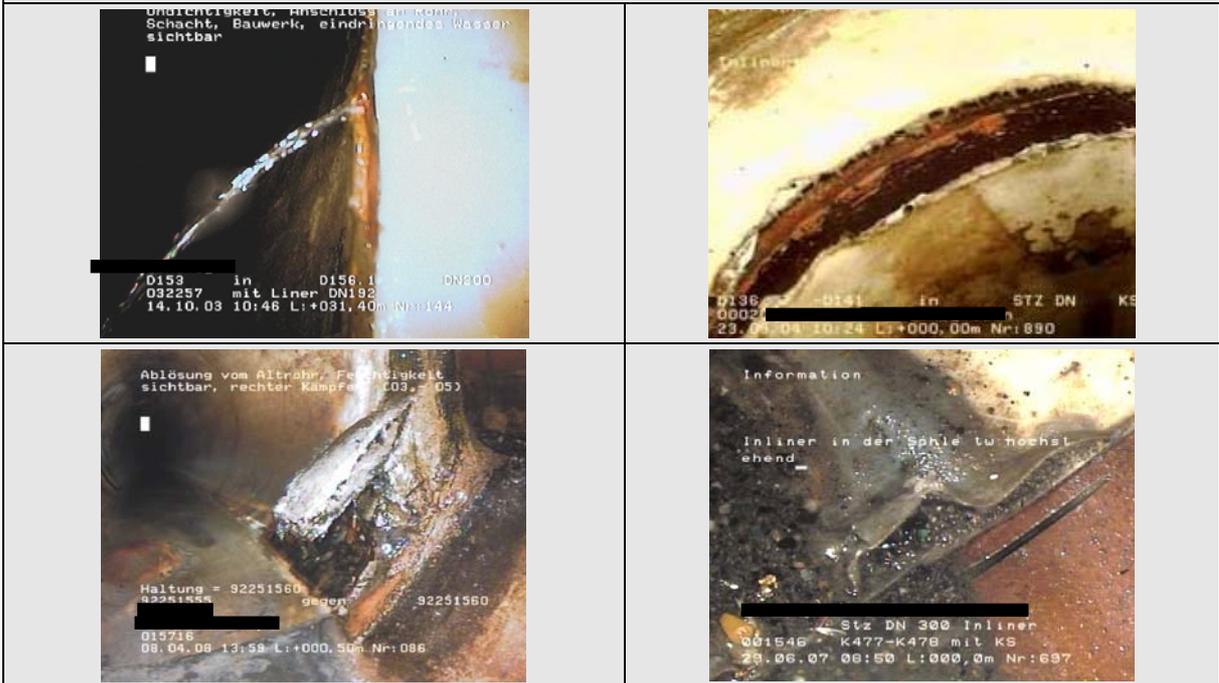


4. Lineranbindungen

b) Undichte Schachtanbindungen

Beschreibung:

Auffälligkeiten treten in unterschiedlichen Erscheinungen auf, wie z. B. Infiltrationen infolge Linerhinterläufigkeiten (vgl. Bild l. o.), Risse im Anbindungsbereich sowohl in Querrichtung (vgl. Bild r. o.) als auch in Längsrichtung, Ablösungen der Anbindungen vom Altrohr (vgl. Bild l. u.) und Ablösungen des Liners (vgl. Bild r. u.); i. d. R. nur bei in Betrieb befindlichen Linern vorgefunden (z. B. im Rahmen von Gewährleistungsabnahmen)



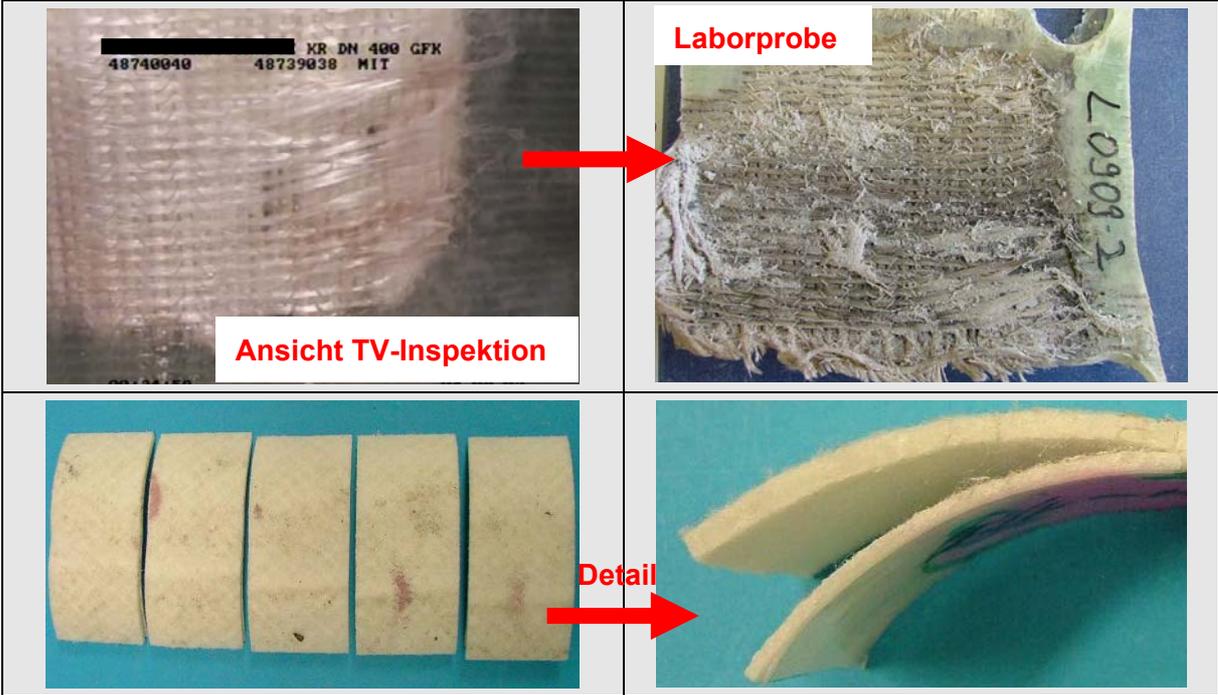
5. Unzureichende Tränkungen

a) Unzureichend imprägnierte Fasern

Beschreibung:

Fall 1: GFK-Liner: Bei glasfasergetragenen Systemen können unzureichend imprägnierte Fasern im Rahmen von optischen Kanalinspektionen erkennbar sein (vgl. Bild l. o., Detail vgl. Bild r. o.), ein weiteres Indiz für unzureichend getränkte Fasern ist eine hell schimmernde Verfärbung der Linerinnenwand, die von der üblichen Farbe eines ausgehärteten Liners abweicht; häufig nur unter Laborbedingungen erkennbar

Fall 2: NF-Liner: Bei Schlauchlinersystemen mit einem Trägermaterial bestehend aus Nadelfilz sind unzureichend getränkte Abschnitte im Rahmen von Kanalinspektionen kaum zu erkennen, da aufgrund der vorhandenen Innenbeschichtungen und eingeschränkter Lichtverhältnisse das Laminat nahezu nicht sichtbar ist; bei Probekörpern im Labor ist eine mangelnde Imprägnierung deutlich im Wandaufbau und auf der Linerrückseite (z. B. nach dem Entfernen des Preliners) zu erkennen (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)

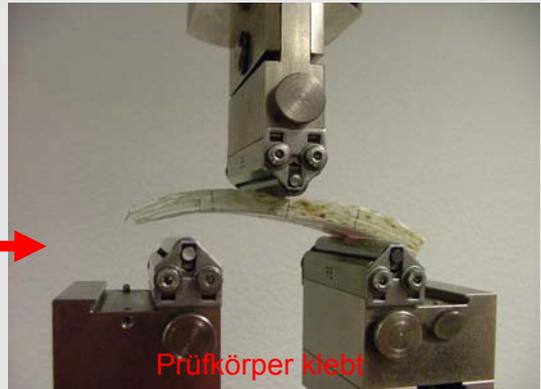
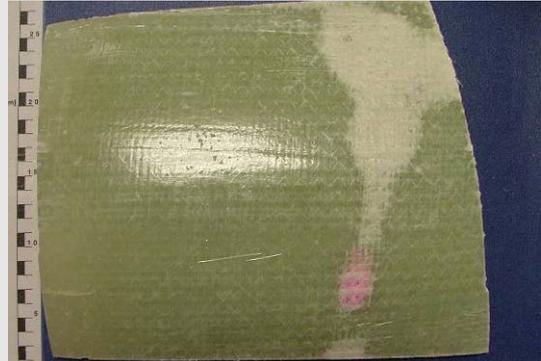
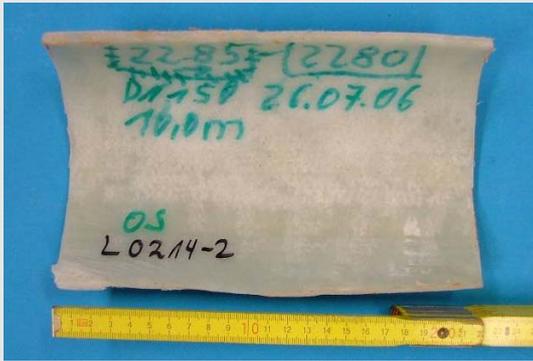


6. Unzureichende Aushärtung

a) Farbänderungen an der Linerwand

Beschreibung:

Unzureichend ausgehärtete Linerabschnitte sind im Rahmen von Kanalinspektionen kaum erkennbar; ein Indiz für diese Auffälligkeit kann – unabhängig vom System – eine farbliche Veränderung der Linerinnenwand sein (vgl. unzureichende Tränkungen); bei UP-Harz getränkten Systemen kann darüber hinaus vorhandener Styrolgeruch ein Anzeichen für Aushärungsdefizite sein; bei Probekörpern im Labor sind die farblichen Abweichungen deutlicher zu erkennen (vgl. Bild l. o., Bild r. o. und Bild l. u.); nicht vollständig ausgehärtete Liner zeichnen sich durch ein vom Standard (NF o. GFK) abweichendes Bruchverhalten bei Belastung im 3-Punkt-Biegeversuch aus (vgl. Bild r. u.)



7. Auffällige Wandaufbauten

a) Lufteinschlüsse

Beschreibung:
 Lufteinschlüsse (Lunker, Poren und Hohlräume) im Liner, die in unterschiedlicher Form, Größe, Lage und Dichte sowohl auf der Linerrinnenseite (vgl. Bild l. o., Bild r. o. und Bild l. u.), der Lineraußenseite und im Wandaufbau (vgl. Bild r. u.) zum Vorschein kommen; im Kanal kaum erkennbar, jedoch unter Laborbedingungen bei entsprechender Größe deutlich sichtbar

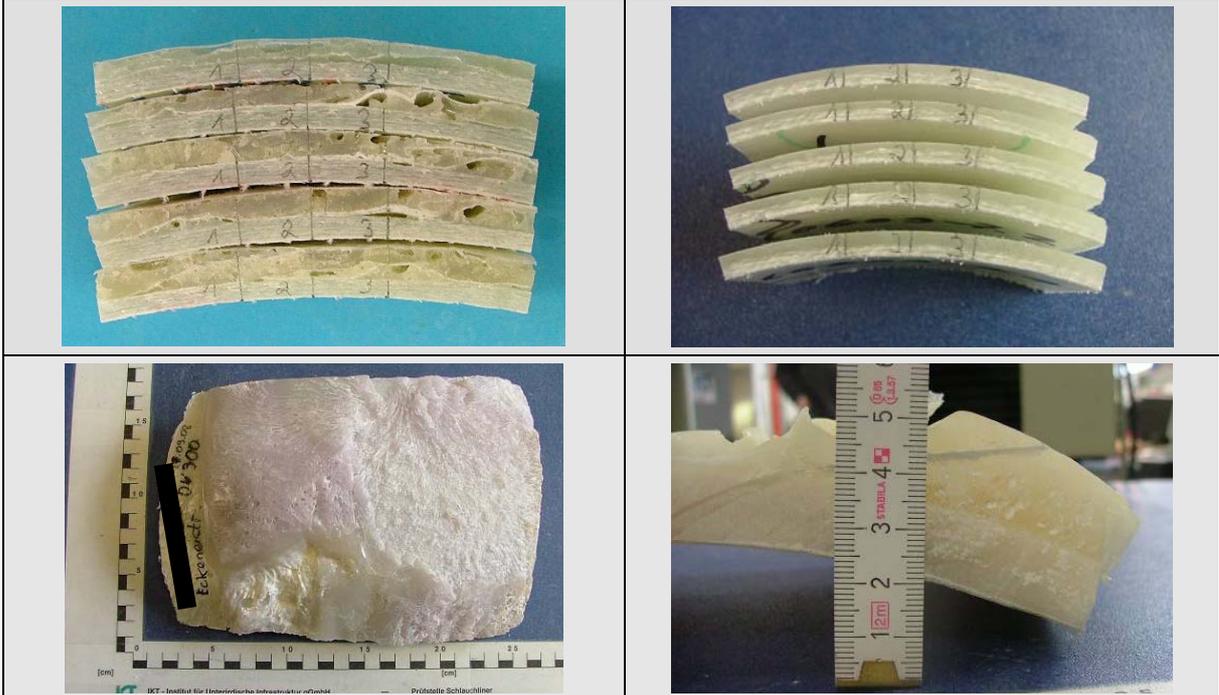


7. Auffällige Wandaufbauten

b) Reinharzschichten und lokaler Harzüberschuss

Beschreibung:

- Extrem ausgeprägte, durchgängige Reinharzschichten auf der Linerrückseite (vgl. Bild l. o. und Bild r. o.); bei GFK-Linern zählt diese Schicht nicht zur statisch tragenden Wanddicke
- Lokaler Harzüberschuss auf der Linerrückseite (vgl. Bild l. u. und Bild r. u.)

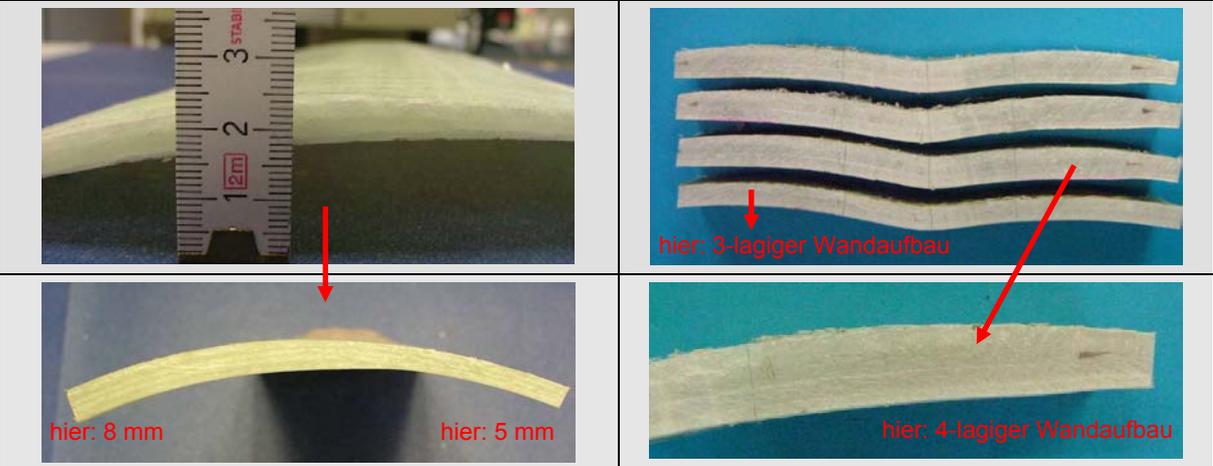


7. Auffällige Wandaufbauten

c) Unregelmäßiger Wandaufbau

Beschreibung:

Schwankungen der Wanddicke eines Querschnitts in Längs- und/oder Umfangsrichtung von z. T. deutlich über 50 % (vgl. Bild l. o. und Bild l. u.); Wechselnde Anzahl der Filzlagen in Teilbereichen einer Probekörperserie (vgl. Bild r. o. und Bild r. u.)



Anhang 2: Aktuelle Baumaßnahmen

Dokumentationen und Prüfergebnisse der Abnahme

Baumaßnahme 1

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.1: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------|--|
| 1 (01) | Brandenburger Liner GMBH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | KS - Kanalsanierung Friedrich | Jan. 2008 | Beton, DN 300 | 1 x Schacht (Schale) ^{*1} 1 x Haltung (Ring) ^{*2} |
| 2 (02) | Brandenburger Liner GMBH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | KS - Kanalsanierung Friedrich | Jan. 2008 | Beton, DN 300 | 1 x Schacht (Schale) ^{*1} 2 x Haltung (Ring) ^{*2*4} |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

*2 Ring = Linerabschnitt von ca. 0,6 m Länge

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

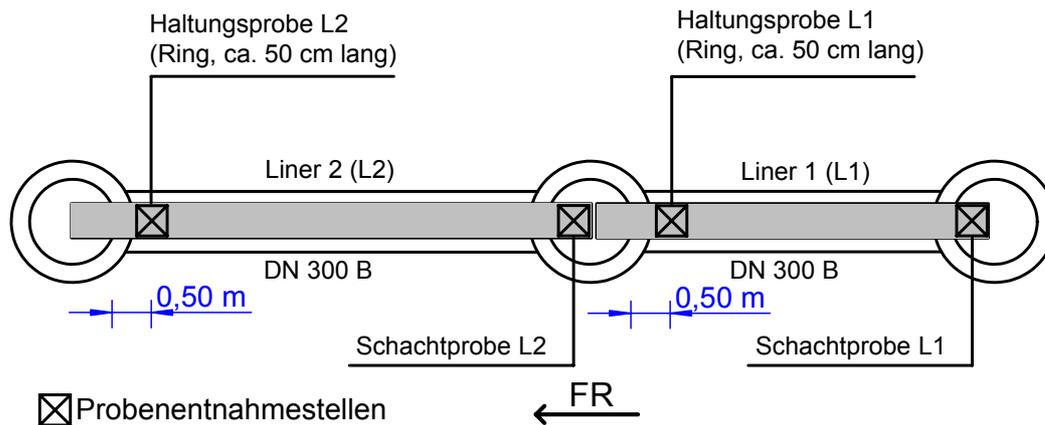


Abb. A2.1: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Trennschleifer mit Halteverlängerung zur Entnahme von Haltungsproben



b) Trennschleifer ohne Halteverlängerung zur Entnahme von Haltungsproben



c) Entnahme einer Haltungsprobe händisch aus dem Schachtbereich

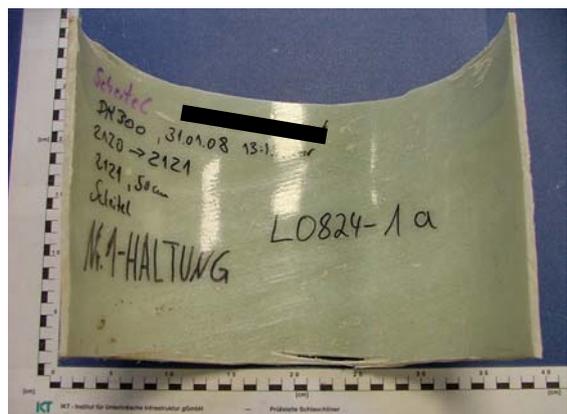


d) Bergung einer Haltungsprobe

Abb. A2.2: Entnahme von Haltungsproben



a) Innenmanschette zur Reparatur



b) Probekörper im Labor

Abb. A2.3: Reparatur der Entnahmestellen und Darstellung einer Baustellenprobe

Laborprüfungen und Ergebnisse

 Tab. A2.2: Ergebnisse der Laborprüfungen ^{*3}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 220 | 2,45 |
| Haltungsprobe L1, Sohle _{t=0d} | dicht | 12.510 | 250,92 | 4,78 |
| Haltungsprobe L1, Sohle _{t=28d} | entfällt | 13.246 | 266,72 | 4,68 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel _{t=0d} | dicht | 13.258 | 286,12 | 4,64 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel _{t=28d} | entfällt | 11.607 | 255,04 | 5,10 |
| Schachtprobe L1 _{t=0d} | dicht | 13.823 | 350,88 | 4,47 |
| Haltungsprobe L2, Sohle _{t=0d} | dicht | 11.950 | 156,45 | 4,40 |
| Haltungsprobe L2, Sohle _{t=28d} | entfällt | 12.117 | 236,53 | 4,87 |
| Haltungsprobe L2, Scheitel _{t=0d} | dicht | 15.177 | 298,85 | 4,57 |
| Haltungsprobe L2, Scheitel _{t=28d} | entfällt | 12.471 | 224,10 | 4,86 |
| Schachtprobe L2 _{t=0d} | dicht | 15.655 | 329,44 | 4,03 |

^{*3} Die Prüfungen wurden unmittelbar nach Wareneingang (t=0d) und nach ca. einem Monat (t=28d) zeitversetzt durchgeführt.

Ergebnisse der Wiederholungsprüfung (zu Haltungsprobe L2, Sohle)

 Tab. A2.3: Ergebnisse der Wiederholungsprüfungen ^{*4}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 220 | 2,45 |
| Haltungsprobe W-L2, Sohle _{t=0d} | dicht | 13.499 | 293,69 | 4,68 |
| Haltungsprobe W-L2, Scheitel _{t=0d} | dicht | 14.098 | 246,77 | 4,09 |

^{*4} Aus dem Bereich von Haltungsprobe L2 wurden zwei weitere Proben (Sohle und Scheitel aus einem Querschnitt) entnommen und erneut die Dichtheit und mechanischen Kennwerte überprüft, da die Biegespannung bei der ersten Prüfung den geforderten Sollwert nicht erfüllte.

Baumaßnahme 2

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.4: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|---------------|--|
| 1 (03) | Brandenburger Liner GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Brandenburger Kanalsanierung | Feb. 2008 | Beton, DN 250 | 1 x Schacht (Schale) ^{*1} 1 x Haltung (Ring) ^{*2} |
| 2 (04) | Brandenburger Liner GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Brandenburger Kanalsanierung | Feb. 2008 | Beton, DN 300 | 1 x Haltung (Ring) ^{*2} |
| 3 (05) | Brandenburger Liner GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Brandenburger Kanalsanierung | Jan. 2008 | Beton, DN 400 | 1 x Schacht (Schale) ^{*1} 1 x Haltung (Ring) ^{*2} |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

*2 Ring = Linerabschnitt von ca. 0,6 m Länge

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

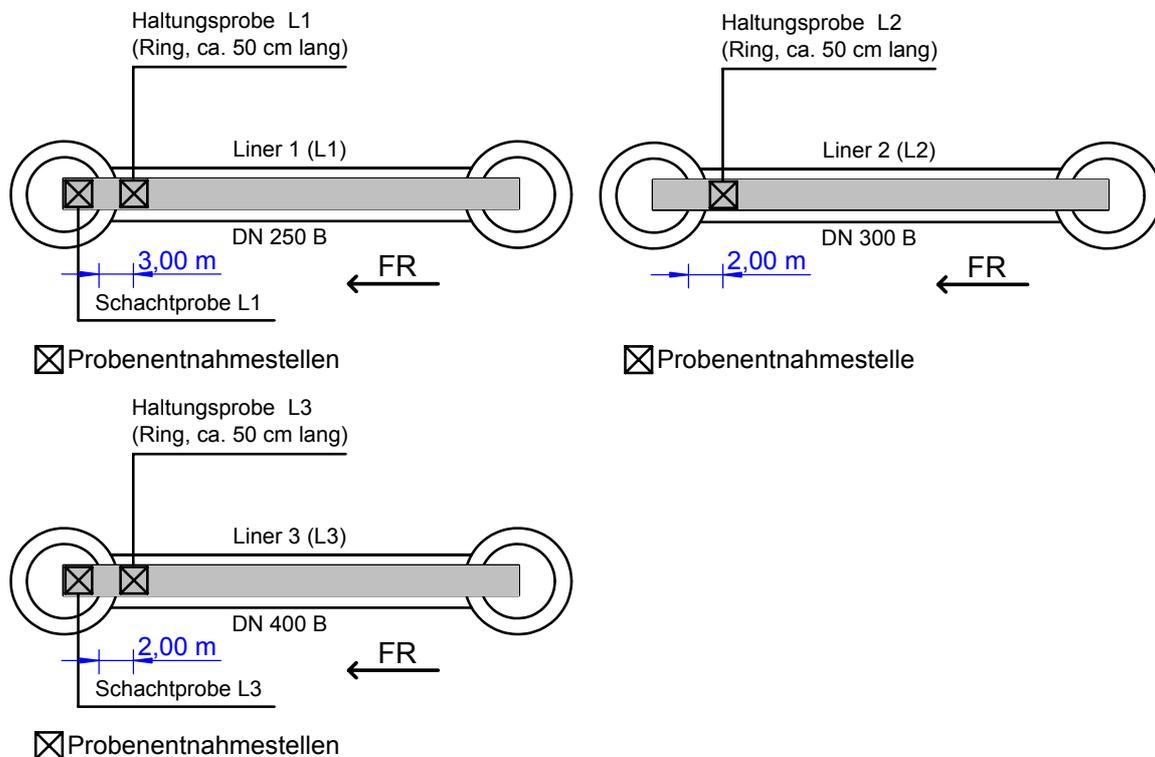


Abb. A2.4: Haltungsskizzen und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Vorbereitungen zur Probenentnahme, Einlass des Fräsroboters in den Schacht



b) Fräsroboter, Detailansicht

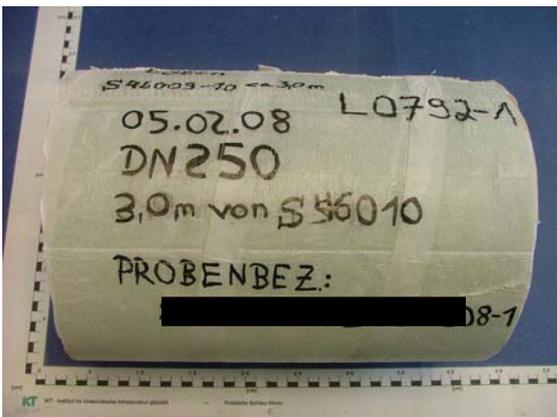


c) Fräsarbeiten zur Probenentnahme, Ansicht von der Straßenoberfläche

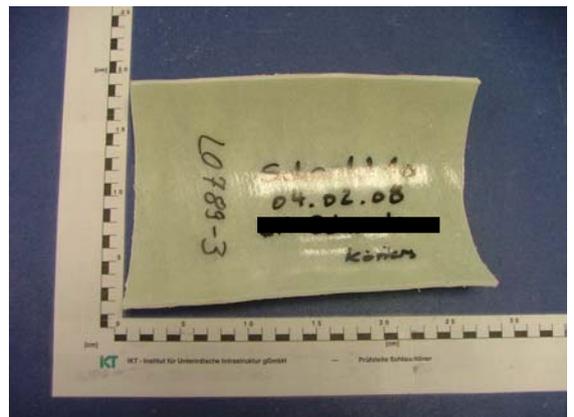


d) Entnahme des Probekörpers nach erfolgter Fräsung mit dem Roboter

Abb. A2.5: Entnahme der Haltungsproben



a) Haltungsprobe L1, Kreisring



b) Schachtprobe L1, Schale

Abb. A2.6: Darstellung der Baustellenproben, Wareneingang im Labor

Laborprüfungen und Ergebnisse

 Tab. A2.5: Ergebnisse der Laborprüfungen ^{*3}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 220 | 3,5 (DN 250) ^{*4} 3,5 (DN 300) ^{*5} 4,2 (DN 400) ^{*6} |
| Haltungsprobe L1, Sohle _{t=0d} | dicht | 12.013 | 221,26 | 4,15 ^{*4} |
| Haltungsprobe L1, Sohle _{t=28d} | entfällt | 13.525 | 235,12 | 4,00 ^{*4} |
| Haltungsprobe L1, Scheitel _{t=0d} | dicht | 12.258 | 245,40 | 4,19 ^{*4} |
| Haltungsprobe L1, Scheitel _{t=28d} | entfällt | 11.219 | 225,23 | 4,39 ^{*4} |
| Schachtprobe L1 _{t=0d} | dicht | 13.112 | 294,82 | 3,89 ^{*4} |
| Haltungsprobe L2, Sohle _{t=0d} | dicht | 10.722 | 183,50 | 4,35 ^{*5} |
| Haltungsprobe L2, Sohle _{t=28d} | entfällt | 12.054 | 202,59 | 4,24 ^{*5} |
| Haltungsprobe L2, Scheitel _{t=0d} | dicht | 12.491 | 225,69 | 4,19 ^{*5} |
| Haltungsprobe L2, Scheitel _{t=28d} | entfällt | 13.142 | 229,72 | 4,04 ^{*5} |
| Schachtprobe L2 _{t=0d} | keine Schachtprobe entnommen | | | |
| Haltungsprobe L3, Sohle _{t=0d} | dicht | 10.128 | 125,13 | 6,04 ^{*6} |
| Haltungsprobe L3, Sohle _{t=28d} | entfällt | 11.731 | 169,89 | 6,04 ^{*6} |
| Haltungsprobe L3, Scheitel _{t=0d} | dicht | 11.467 | 142,89 | 5,92 ^{*6} |
| Haltungsprobe L3, Scheitel _{t=28d} | entfällt | 11.798 | 172,43 | 5,90 ^{*6} |
| Schachtprobe L3 _{t=0d} | dicht | 13.113 | 196,24 | 5,56 ^{*6} |

^{*3} Die Prüfungen wurden unmittelbar nach Wareneingang (t=0d) und nach ca. einem Monat (t=28d) zeitversetzt durchgeführt.

^{*4} Sollwert Wanddicke = 3,5 mm (DN 250)

^{*5} Sollwert Wanddicke = 3,5 mm (DN 300)

^{*6} Sollwert Wanddicke = 4,2 mm (DN 400)

Baumaßnahme 3

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.6: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 (06) | Brandenburger Liner GMBH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Brandenburger Kanalsanierung | Feb. 2008 | Beton, DN 300 DN 400 *1 | 2 x Haltung (Ring) *2 |

*1 Dimensionswechsel in der Kanalhaltung, siehe Skizze

*2 Ring = Linerabschnitt von ca. 0,6 m Länge

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

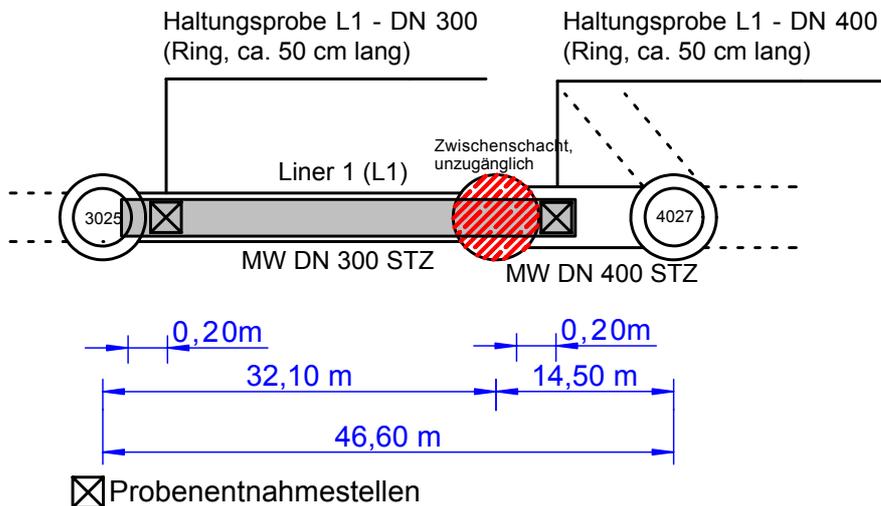


Abb. A2.7: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Anmerkung:

Der Schlauchliner wurde von Schacht 3025 bis zum Zwischenschacht eingebaut (DN 300). Da der Zwischenschacht unzugänglich ist, wurde der Liner bis zum Schacht 4027 eingezogen und auf ca. 1 m Länge hinter dem Zwischenschacht mit ausgehärtet (Dimensionswechsel auf DN 400). Aus diesem Bereich wurde eine weitere Probe entnommen. Der ausgehärtete Schlauchabschnitt für die Materialprobe sowie der nicht ausgehärtete Abschnitt wurden im Anschluss über Schacht 4027 herausgezogen (vgl. Abb. A2.8 g).

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Einzug der Schutzfolie



b) Einzug des Schlauchliners



c) Lichterkette für die UV-Härtung



d) Ansicht der Schleuse am Schlauchanfang



e) UV-Härtung des Liners



f) Videodokumentation der Fräsarbeiten



g) Darstellung des (teil-)ausgehärteten Liners (Baustellenprobe)



h) Beschriftung eines Probekörpers

Abb. A2.8: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.7: Ergebnisse der Laborprüfungen ^{*3}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 220 | 4,00 |
| Haltungsprobe L1, DN 300, Sohle _{t=0d} | dicht | 10.098 | 146,48 | 4,78 |
| Haltungsprobe L1, DN 300, Sohle _{t=28d} | entfällt | 8.943 | 118,91 | 4,83 |
| Haltungsprobe L1, DN 300, Scheitel _{t=0d} | dicht | 10.267 | 158,50 | 4,74 |
| Haltungsprobe L1, DN 300, Scheitel _{t=28d} | entfällt | 11.007 | 146,70 | 4,53 |
| Haltungsprobe L1 ^{*4} , DN 400, Kreisring _{t=0d} | dicht | 15.237 | 324,61 | 4,48 |
| Haltungsprobe L1 ^{*4} , DN 400, Kreisring _{t=28d} | entfällt | 15.229 | 334,91 | 4,26 |

^{*3} Die Prüfungen wurden unmittelbar nach Wareneingang (t=0d) und nach ca. einem Monat (t=28d) zeitversetzt durchgeführt.

^{*4} Die Probekörper entstammen aus dem Bereich hinter dem Zwischenschacht (DN 400).

Baumaßnahme 4

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.8: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|---------------|---|
| 1 (07) | Brandenburger Liner GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Frisch und Faust | März 2008 | Beton, DN 400 | 2 x Schacht (1 x Schale / 1 x Ring) ^{*1*2} 1 x Haltung (Schale) ^{*1} |
| 2 (08) | Brandenburger Liner GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Frisch und Faust | März 2008 | Beton, DN 300 | 2 x Schacht (Schale) ^{*1*3} 1 x Haltung (Schale) ^{*1} |

*1 Schale = Probekörper mit einer Breite von ca. 30 cm und einer Länge größer als 60 cm

*2 Ring = Linerabschnitt von ca. 0,2 m Länge

*3 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

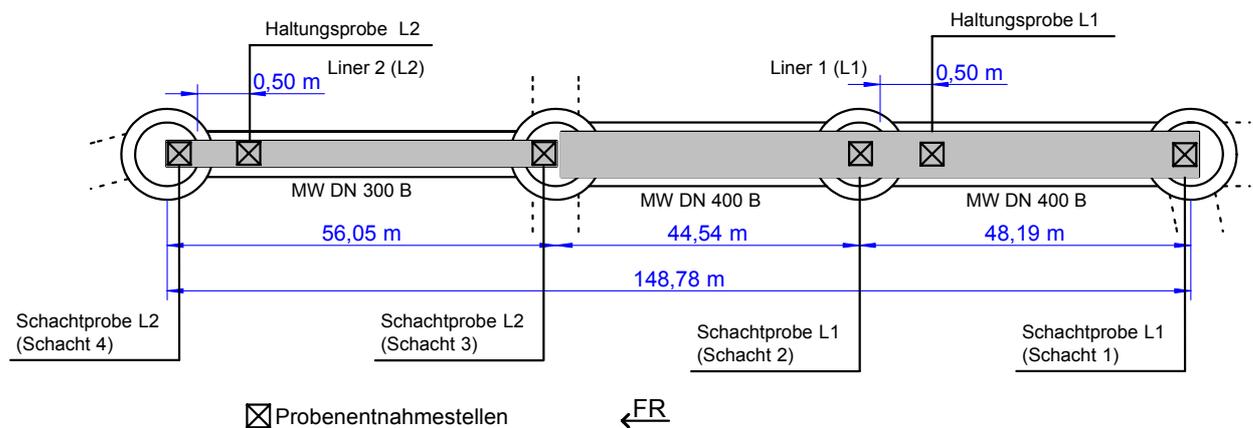


Abb. A2.9: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Baustelleneinrichtung



b) Einzug des Schlauchliners

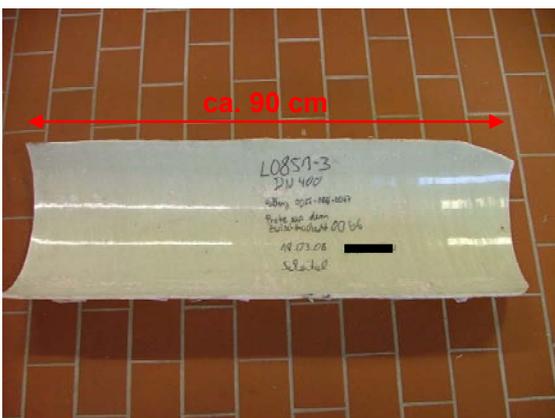


c) Entnahme einer Haltungsprobe, händisch aus dem Schachtbereich

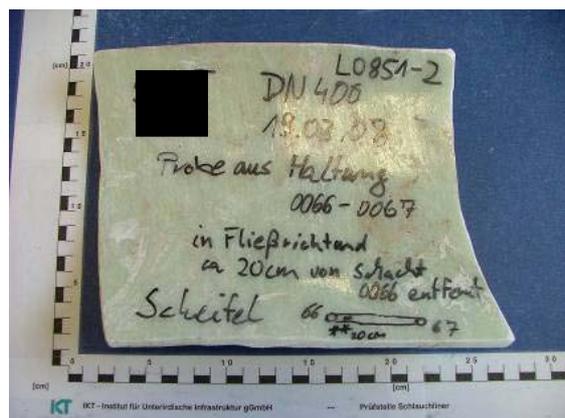


d) Anmischen eines zwei Komponenten Epoxid-Harzes zur Reparatur

Abb. A2.10: Einzug des Schlauchliners, Entnahme einer Haltungsprobe und



a) Schachtprobe L1 (Schacht 2)



b) Haltungsprobe L1

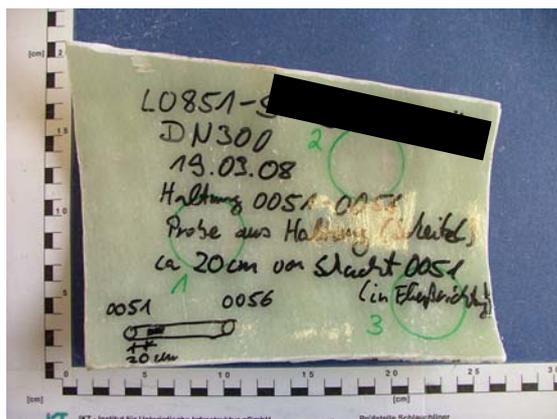
Abb. A2.11: Darstellung der Probekörper, Beispiele

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.9: Ergebnisse der Laborprüfungen *3

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 220 | 5,6 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel t=0 d | dicht | 15.847 | 342,65 | 5,74 |
| Schachtprobe L1 (Schacht 1) t=0 d | entfällt | 15.809 | 340,56 | 5,60 |
| Schachtprobe L1 (Schacht 1) t=28 d | dicht | 15.161 | 347,86 | 5,58 |
| Schachtprobe L1 (Schacht 2) t=0 d | dicht | 15.052 | 332,32 | 5,62 |
| Schachtprobe L1 (Schacht 2) t=28 d | entfällt | 18.867 | 369,14 | 5,40 |
| Haltungsprobe L2, Scheitel t=0 d | undicht | 13.595 | 303,27 | 4,94 |
| Schachtprobe L2 (Schacht 3) t=0 d | dicht | 14.273 | 271,02 | 4,80 |
| Schachtprobe L2 (Schacht 3) t=28 d | entfällt | 13.222 | 295,51 | 4,86 |
| Schachtprobe L2 (Schacht 4) t=0 d | dicht | 15.058 | 306,25 | 4,83 |

*3 Die Prüfungen wurden unmittelbar nach Wareneingang (t=0d) und nach ca. einem Monat (t=28d) zeitversetzt durchgeführt.



a) Innenseite des Probekörpers



b) Außenseite des Probekörpers

Abb. A2.12: Darstellung des undichten Probekörpers

Baumaßnahme 5

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.10: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|--|----------------------------|--------------------------------------|--|-----------------|-------------------------|--|
| 1 (09) | Insituform Rohr- sanierungstechniken GmbH | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Insituform Rohr- sanierungstechniken GmbH | April 2008 | Beton, Ei 400/600 | 2 x Haltung (Schale) * ¹ |

*¹ Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Baumaßnahme und Probenentnahmestelle

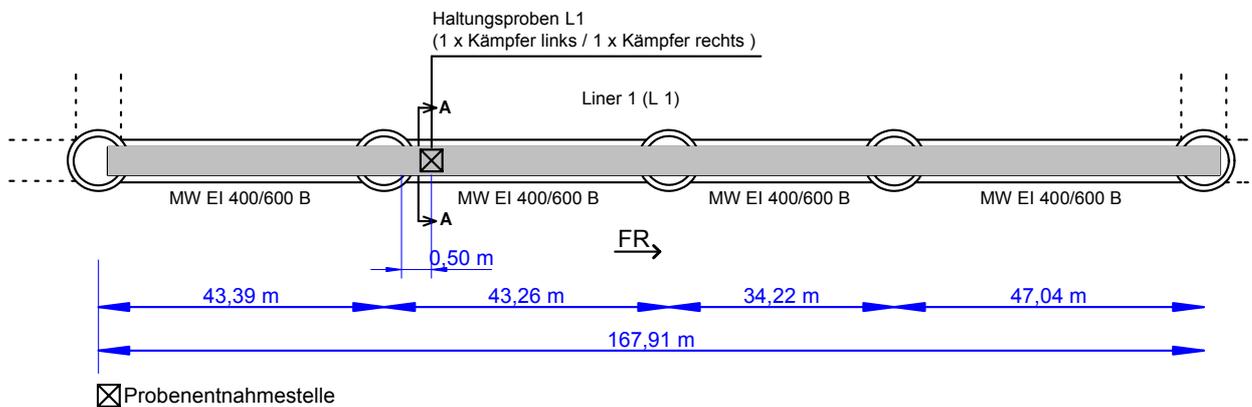


Abb. A2.13: Haltungsskizze und Entnahmestelle der Baustellenproben

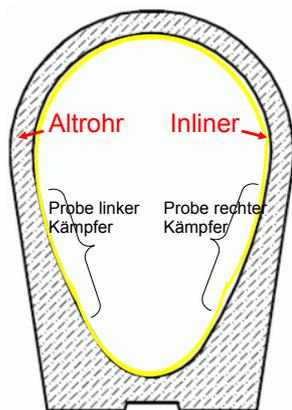


Abb. A2.14: Probenentnahmestelle, Detail A - A

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Baustelleneinrichtung



b) Inversion des Preliners



c) Gelieferter Schlauch (mit Eis gekühlt)



d) Inversion des Schlauchliners



e) Öffnen des Schlauchliners nach
Härtung und Abkühlung



f) Baustellenproben
(rechter und linker Kämpfer)

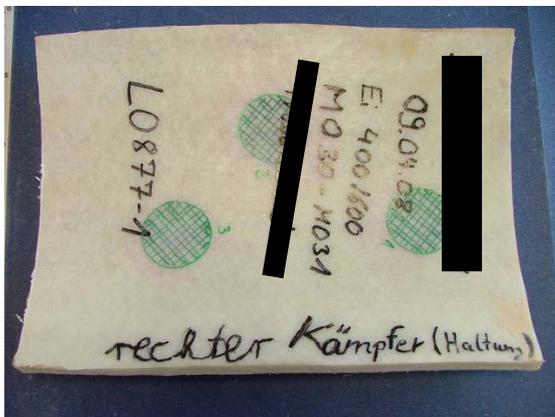
Abb. A2.15: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.11: Ergebnisse der Laborprüfungen *2

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 2.800 | 28,00 | 9,00 |
| linker Kämpfer $t=0d$ | dicht | 3.284 | 33,17 | 11,03 |
| rechter Kämpfer $t=28d$ | undicht | 3.251 | 31,82 | 10,39 |

*2 Die mechanischen Kennwerte wurden zeitversetzt ermittelt, die Dichtheitsprüfungen beider Probekörper wurden zum Zeitpunkt $t=0d$ durchgeführt.



a) Innenseite des Probekörpers



b) Außenseite des Probekörpers

Abb. A2.16: Darstellung des undichten Probekörpers

Baumaßnahme 6

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.12: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|--|
| 1 (10) | RS Technik AG (CityLiner) | NF / EP-Harz (mobile Tränkung) | Inversion / Warmwasser Härtung | Diringer und Scheidel | April 2008 | Beton, DN 500 | 6 x Haltung (Schale) * ¹ 2 x Schacht (Schale) * ¹ |

*¹ Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

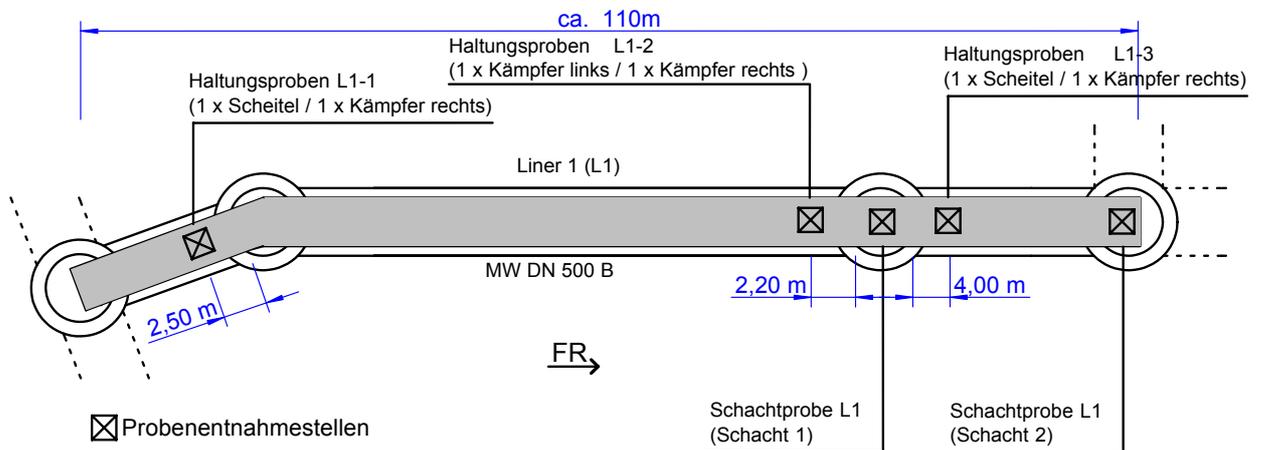


Abb. A2.17: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Beispielbilder: Baustellendokumentation, Probenentnahme und Laborprüfungen



a) Inversion des Preliners



b) Vorbereitungen für eine Schachtprobe, Jeanskappe und Stützrohr



c) Imprägnierung des Liners mit einer mobilen Tränkungsanlage



d) Mobile Heizanlage zur Warmwasser-Härtung des Liners



e) Fräsroboter zur Entnahme von Haltungsproben

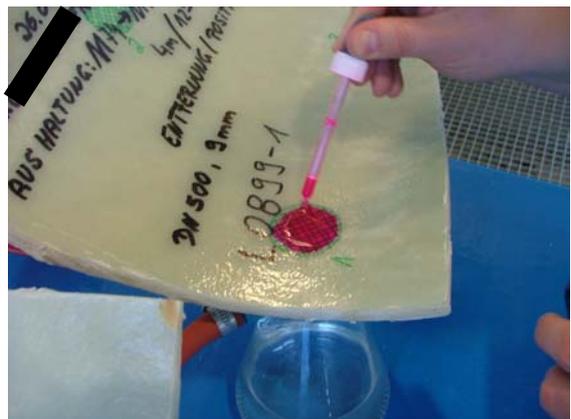


f) Beschriftung einer Baustellenprobe

Abb. A2.18: Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Drei-Punkt-Biegezugversuch



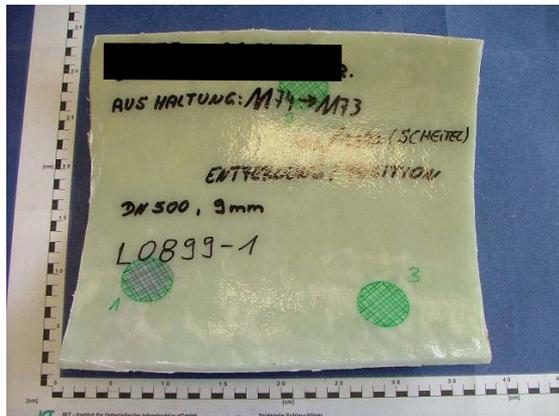
b) Dichtheitsprüfung nach der APS-Richtlinie

Abb. A2.19: Laborprüfungen

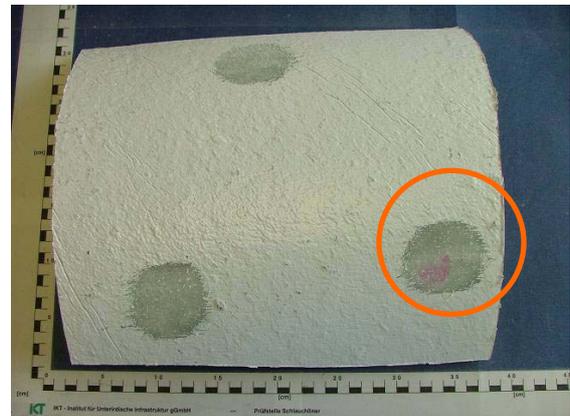
Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.13: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| Sollwerte | dicht | 2.400 | 55,00 | 6,00 |
| Haltungsprobe L1-1, Scheitel $t=0d$ | dicht | 2.433 | 68,79 | 9,85 |
| Haltungsprobe L1-1, r. Kämpfer $t=0d$ | dicht | 2.591 | 76,02 | 9,73 |
| Haltungsprobe L1-2, l. Kämpfer $t=0d$ | dicht | 2.456 | 66,26 | 9,71 |
| Haltungsprobe L1-2, r. Kämpfer $t=0d$ | dicht | 2.403 | 66,53 | 9,28 |
| Schachtprobe L1, (Schacht 1) $t=0d$ | dicht | 2.140 | 59,49 | 9,78 |
| Haltungsprobe L1-3, Scheitel $t=0d$ | undicht | 1.839 | 46,17 | 9,76 |
| Haltungsprobe L1-3, r. Kämpfer $t=0d$ | dicht | 2.641 | 78,17 | 9,72 |
| Schachtprobe L1, (Schacht 2) $t=0d$ | dicht | 2.491 | 67,84 | 9,78 |



a) Innenseite des Probekörpers



b) Außenseite des Probekörpers

Abb. A2.20: Darstellung des undichten Probekörpers

Baumaßnahme 7

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.14: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------|-----------------|---------|-------------------------|
| 1 (11) | NordiTube Technologies AB (UniLiner) | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Rainer Kiel | Mai 2008 | DN 250 | 1 x Schacht (Ring) *1 |
| 2 (12) | NordiTube Technologies AB (UniLiner) | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Rainer Kiel | Mai 2008 | DN 300 | 1 x Schacht (Schale) *2 |
| 3 (13) | NordiTube Technologies AB (UniLiner) | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Rainer Kiel | Juni 2008 | DN 250 | 1 x Schacht (Ring) *1 |
| 4 (14) | NordiTube Technologies AB (UniLiner) | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Rainer Kiel | Juni 2008 | DN 250 | 1 x Schacht (Ring) *1 |

k. A. = keine Angabe

*1 Ring = Linerabschnitt von ca. 0,4 m Länge

*2 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Baustellenproben und Laborprüfungen



a) Schachtprobe Liner 2 (Schale ca. DIN A4 groß)



b) Schachtprobe Liner 3 (Linerabschnitt von ca. 40 cm Länge mit Schalungskörper)

Abb. A2.21: Darstellung der Baustellenproben, Beispiele



a) Probekörper im Scheiteldruckversuch, Ansicht bei Belastungsbeginn



b) Probekörper im Scheiteldruckversuch, Ansicht nach dem Versagen

Abb. A2.22: Scheiteldruckversuch

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.15: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 3.000 (DN 300) 3.500 (DN 250) | 44,00 | 6,50 |
| Schachtprobe L1 ^{*3} , DN 250 _{t=0d} | undicht | 5.317 | 45,49 | 4,65 |
| Schachtprobe L2, DN 300 _{t=0d} | dicht | 4.409 | 51,37 | 4,92 |
| Schachtprobe L3 ^{*3} , DN 250 _{t=0d} | undicht | 6.922 | 48,02 | 4,61 |
| Schachtprobe L4 ^{*3} , DN 250 _{t=0d} | undicht | 6.365 | 52,60 | 4,64 |

^{*3} Die mechanischen Kurzzeit-Kennwerte der Schachtproben L1, L3 und L4 wurden durch einen Scheiteldruckversuch in Anlehnung an DIN EN 1228 (E-Modul) bzw. mit der Ringbiegefestigkeitsprüfung in Anlehnung an DWA-M 143-20 ermittelt.

Anmerkung:

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes war eine umfangreiche Haltungsbeprüfung bei der Baumaßnahme geplant. Aufgrund der ermittelten Ergebnisse der Schachtproben wurde die Maßnahme vorerst gestoppt, um den Sachverhalt (Sollwertunterschreitungen bei der Dichtheit und der Wanddicke) zu klären. Die Haltungsproben konnten während des Projektzeitraumes nicht mehr entnommen werden.

Baumaßnahme 8

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.16: Kenndaten

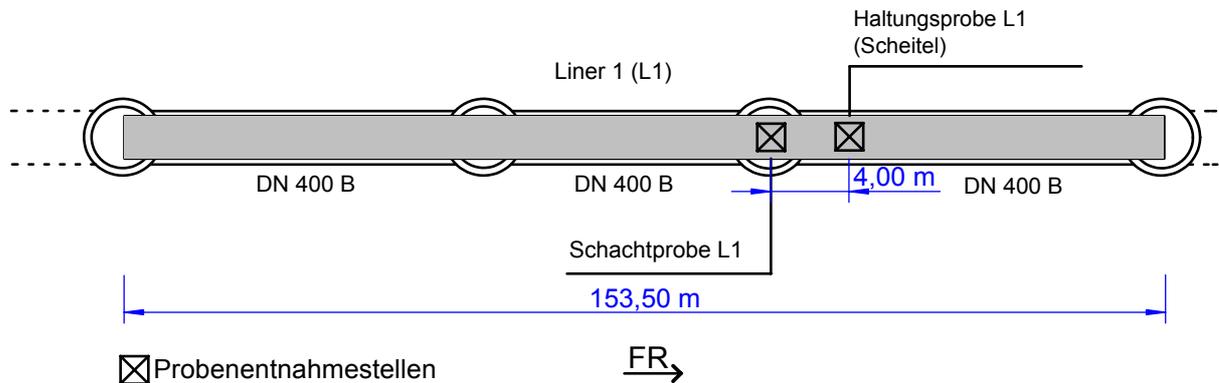
| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|-----------------|---------------|--|
| 1 (15) | BKP Berlin Polyester GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Arkil Inpipe | Juli 2008 | Beton, DN 400 | 1 x Schacht (Schale) * ¹ 1 x Haltung (Schale) * ¹ |
| 2 (16) | BKP Berlin Polyester GmbH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Arkil Inpipe | Aug. 2008 | DN 250 | 1 x Schacht (Schale) * ² 1 x Haltung (Schale) * ² |

*¹ Schale = Probekörper ca. 2 x DIN A4 groß

*² Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

Sanierungsabschnitt 1: DN 400



Sanierungsabschnitt 2: DN 250

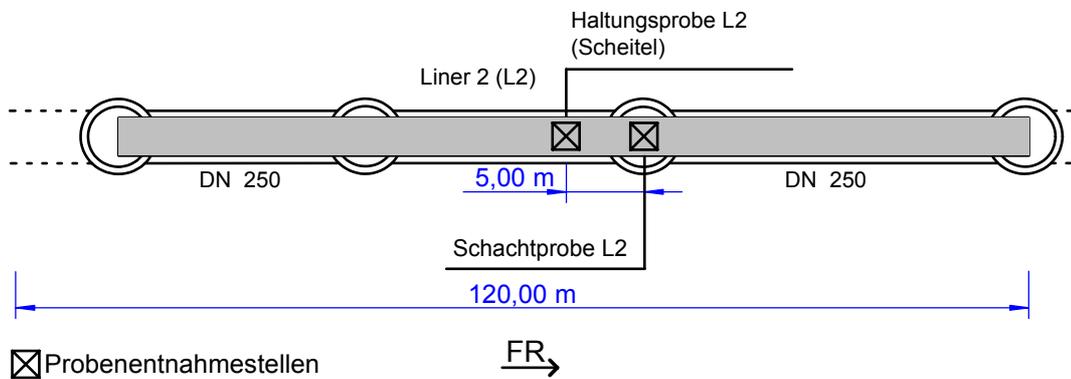


Abb. A2.23: Haltungsskizzen und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Kanalreinigung vor der Sanierung



b) Einziehen des Schlauchliners,
Ansicht der Seilwinde



c) Einziehen des Schlauchliners,
Ansicht Hebevorrichtung



d) Einziehen des Schlauchliners,
Ansicht Startschacht



e) Jeansschlauch zur Stützung des Liners
für die Schachtprobe



f) Material aus dem Schacht,
Probekörper und Jeansschlauch



g) Entnahme einer Haltungsprobe, Ansicht von der Straßenoberfläche



h) Entnahme einer Haltungsprobe, Fräsroboter im Kanal

Abb. A2.24: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laboruntersuchungen: Prüfungen und Ergebnisse

Tab. A2. 17: Ergebnisse der Laborprüfungen, Liner 1 ^{*2}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 7.985 | 170 | 3,32 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel $t=0d$ | dicht | 13.198 | 319,35 | 4,86 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel $t=28d$ | entfällt | 13.545 | 296,38 | 5,18 |
| Schachtprobe L1, $t=0d$ | dicht | 13.352 | 359.81 | 5,03 |
| Schachtprobe L1, $t= 28d$ | entfällt | 13.416 | 301.22 | 4,47 |

^{*2} Die Prüfungen wurden unmittelbar nach Wareneingang ($t=0d$) und nach ca. einem Monat ($t=28d$) zeitversetzt durchgeführt.

Tab. A2. 18: Ergebnisse der Laborprüfungen, Liner 2

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 7.985 | 170 | 2,07 |
| Haltungsprobe L2, Scheitel $t=0d$ | dicht | 11.476 | 236,32 | 5,35 |
| Schachtprobe L2, $t=0d$ | dicht | 11.352 | 228.79 | 5,31 |

Baumaßnahme 9

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.19: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---|----------------------------|--------------------------------|---|-----------------|---------------|--|
| 1 (17) | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | April 2008 | Beton, DN 500 | 1 x Schacht (Schale) ^{*1*2} 4 x Haltung (Schale) ^{*1*3} |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

*2 Die Schachtprobe wurde durch ein anderes Prüfinstitut untersucht.

*3 Die Haltungssproben wurden ca. 4 Monate nach dem Linereinbau entnommen.

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

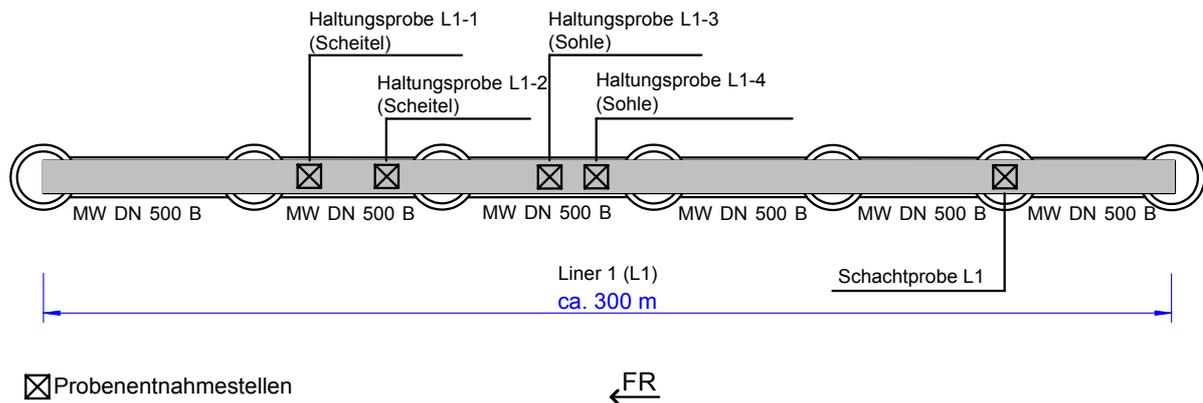


Abb. A2.25: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Baustelleneinrichtung



b) Aufbau des Inversionsturms



c) Inversion des Preliners



d) Inversion des Schlauchliners

Abb. A2.26: Baustellendokumentation



a) Reinigung eines Probekörpers nach Entnahme



b) Fräsroboter zur Vorbereitung der Reparatur einer Entnahmestelle

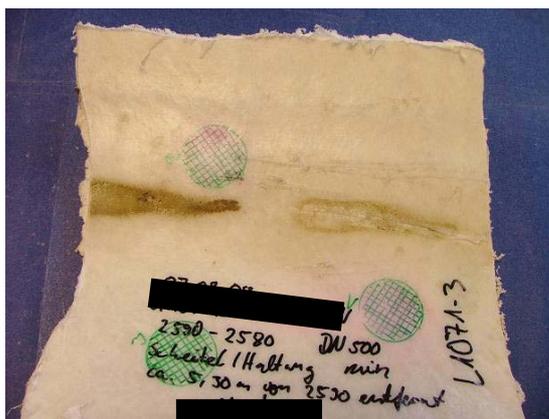
Abb. A2.27: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.20: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 2.800 | 28,00 | 7,20 |
| Haltungsprobe L1-1, Scheitel $t=0d$ | dicht | 3.386 | 34,86 | 8,25 |
| Haltungsprobe L1-2, r. Kämpfer $t=0d$ | undicht | 3.603 | 37,29 | 7,97 |
| Haltungsprobe L1-3, l. Kämpfer $t=0d$ | dicht | 3.772 | 34,96 | 7,52 |
| Haltungsprobe L1-4, r. Kämpfer $t=0d$ | dicht | 3.377 | 31,76 | 7,87 |
| Schachtprobe L1 ^{*4} , (Schacht 1) $t=0d$ | dicht | 4.359 | 48,1 | 7,67 |

*4 Ermittelt durch ein anderes Prüfinstitut.



a) Innenseite des Probekörpers



b) Außenseite des Probekörpers

Abb. A2.28: Darstellung des undichten Probekörpers

Baumaßnahme 10

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A2.21: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-------------|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|--------------|--|
| 1 (18) | iMPREG GmbH | GFK / UP-Harz | Einzug / Dampf-Härtung | Stümges Kanaltechnik | Sep. 2008 | Beton DN 450 | 1 x Schacht (Schale) * ¹ 1 x Haltung (Schale) * ¹ |

*¹ Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

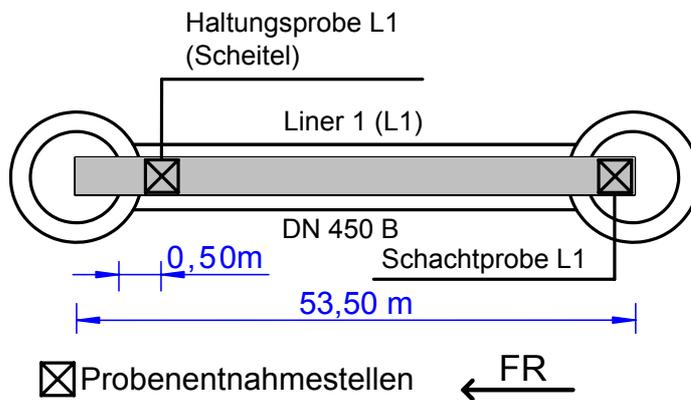


Abb. A2.29: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Gelieferter Schlauchliner



b) Inspektion des Kanals vor dem Einbau mittels TV-Fahrwagenkamera



c) Einzug der Schutzfolie



d) Vorbereiten des Schlauchs zum Einzug



e) Einzug des Schlauchliners



f) Aufstellen des Liners mit Luftdruck



g) Dampf-Härtung des Liners



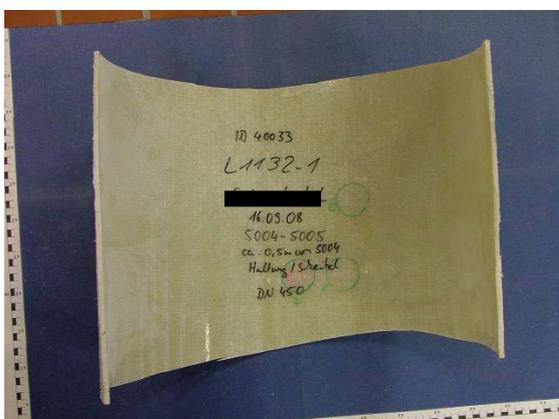
h) Entnahme der Schachtprobe

Abb. A2.30: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A. 22: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 180 | 4,00 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel $t=0d$ | undicht | 12.776 | 307,96 | 4,36 |
| Schachtprobe L1 $t=0d$ | dicht | 16.619 | 342,88 | 4,39 |



a) Innenseite des Probekörpers



b) Außenseite des Probekörpers

Abb. A2.31: Darstellung des undichten Probekörpers

Wiederholungsprüfung (zu Haltungsprobe L 1)

Tab. A.23: Ergebnisse der Wiederholungsprüfungen ^{*2}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 180 | 4,00 |
| Haltungsprobe W-L1, Scheitel $t=0d$ | dicht | entfällt | entfällt | entfällt |

^{*2} Aus dem Bereich von Haltungsprobe L1 wurde eine weitere Probe (Schale aus dem Scheitel) entnommen und erneut die Wasserdichtheit geprüft.

Baumaßnahme 11

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A.24: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---|----------------------------|--------------------------------------|---|-----------------|----------------------------|--|
| 1 (19) | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | Nov. 2008 | Mauerwerk, Ei 1000/1500 | 2 x Haltung (Schale) * ¹ |

*¹ Schale = Probekörper ca. 60 x 80 cm bzw. 80 x 80 cm groß, siehe Skizze

Baumaßnahme und Probenentnahmestellen

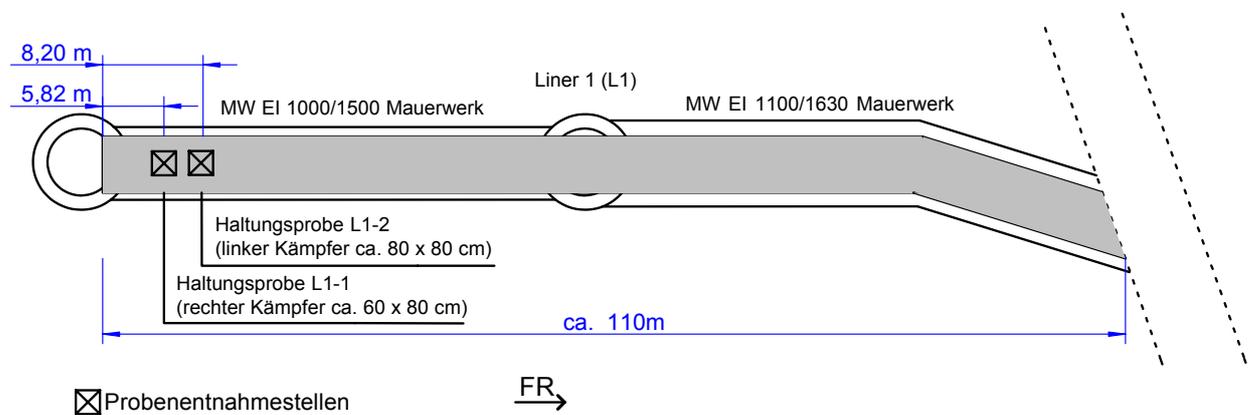


Abb. A2.32: Haltungsskizze und Entnahmestellen der Baustellenproben

Baustellendokumentation und Probenentnahme



a) Anlieferung des Liners



b) Aufgebauter Inversionsturms



c) Inversion des Preliners



d) Preliner im Kanal



e) Anheben des Liners mit einem Kran



f) Inversion des Liners mit Wasserdruck



g) Inversion des Liners, Ansicht Startschacht



h) Inversion des Liners, Ansicht im Kanal



i) Mobile Heizanlage mit Heizschläuchen



j) Fräsung der Proben, händisch im Kanal



k) Baustellenprobe, Entnahmestelle 1



l) Baustellenprobe, Entnahmestelle 2

Abb. A2.33: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A2.25: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 2.800 | 32,00 | 29,10 |
| Haltungsprobe L1-1, rechter Kämpfer $t=0d$ | dicht | 3.650 | 39,00 | 32,62 |
| Haltungsprobe L1-2, linker Kämpfer $t=0d$ | dicht | 3.489 | 37,00 | 31,95 |

Anhang 3: Nachbeprobungen

Prüfergebnisse nach mehrjährigem Betrieb

Nachbeprobung 1

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.1: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|----------|-----------------|---------------|-------------------------------------|
| 1 | SAERTEX multiCom GmbH | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Brochier | 2000 | Beton, DN 400 | 4 x Haltung (Schale) * ¹ |

*¹ Schale = Probekörper ca. 2 x DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen (Skizze)

Auffälligkeiten: Keine optischen Auffälligkeiten vorhanden mit Ausnahme von lokalen kleinen Falten; Nachbeprobung zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung nach acht Jahren Betrieb.

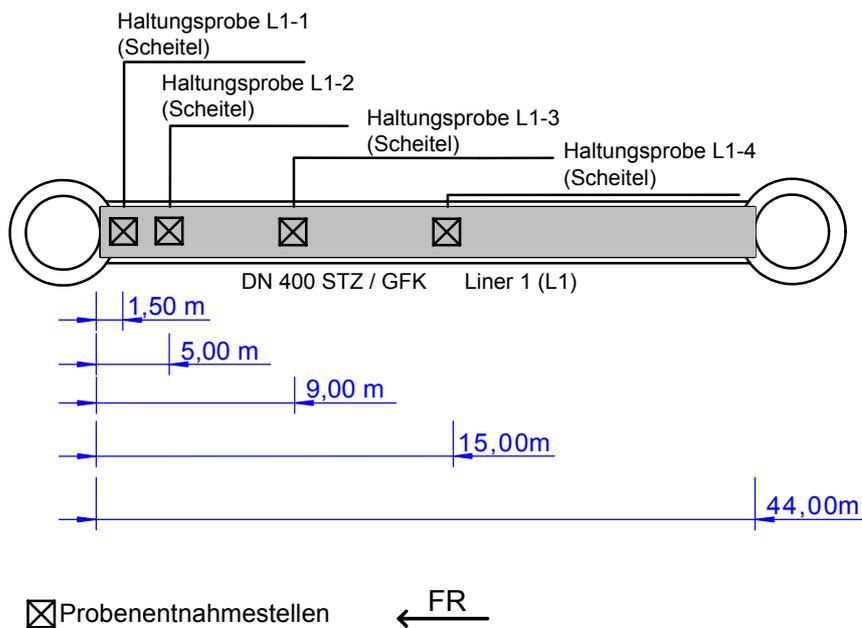


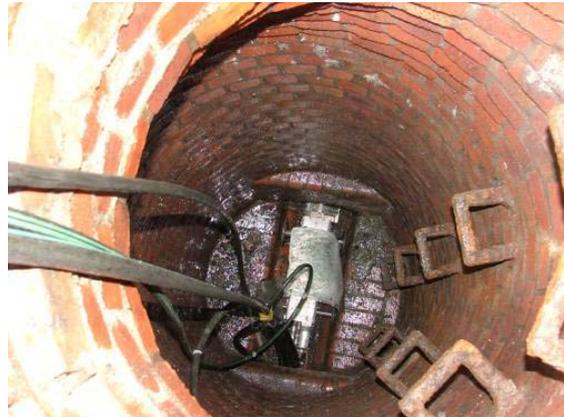
Abb. A3.1: Skizze der Probenentnahmestellen

Probenentnahmestellen: Es wurden je vier willkürlich gewählte Proben aus dem Scheitelbereich der Kanalhaltung entnommen.

Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen



a) Fräsarbeiten zur Probenentnahme, Ansicht von der StraÙeoberfläche



b) Bergung eines Probekörpers aus dem Schacht nach erfolgter Fräsung



c) Reinigung eines Probekörpers nach der Entnahme aus der Haltung



d) Umrüstung des Kanalroboters zur Reparatur der Entnahmestellen



e) Reparatur einer Entnahmestelle, Ansicht Kanalinspekteur



f) Zwei-Komponenten Epoxid-Harz zur Reparatur der Entnahmestellen

Abb. A3.2: Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen

Laborprüfungen und Ergebnisse



a) Ansicht der Innenseite mit kleinen Falten



b) Ansicht der Außenseite

Abb. A3.3: Darstellung einer Materialprobe (L1-1), Beispiel

Tab. A3.2: Ergebnisse der Laborprüfungen *²

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Sollwerte | dicht | k. A. *³ | k. A. *³ | k. A. *³ |
| Haltungsprobe L1-1, Scheitel t=0d | dicht | 10.098 | 146,48 | 4,78 |
| Haltungsprobe L1-1, Scheitel t=28d | entfällt | 10.393 | 188,99 | 3,55 |
| Haltungsprobe L1-2, Scheitel t=0d | dicht | 10.267 | 158,50 | 4,74 |
| Haltungsprobe L1-2, Scheitel t=28d | entfällt | 11.596 | 224,65 | 4,43 |
| Haltungsprobe L1-3, Scheitel t=0d | dicht | 15.237 | 324,61 | 4,48 |
| Haltungsprobe L1-3, Scheitel t=28d | entfällt | 12.028 | 251,37 | 2,66 |
| Haltungsprobe L1-4, Scheitel t=0d | dicht | 10.166 | 141,00 | 4,06 |
| Haltungsprobe L1-4, Scheitel t=28d | entfällt | 10.094 | 137,84 | 3,38 |

k. A. = keine Angabe

*² Die Prüfungen wurden unmittelbar nach Wareneingang (t=0d) und nach ca. einem Monat (t=28d) zeitversetzt durchgeführt.

*³ Die Sollwerte liegen nicht vor.

Nachbeprobung 2

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.3: *Kenndaten*

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---------------|----------------------------|---------------------------|----------|-----------------|---------|------------------------------------|
| 1 | Linertec GmbH | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Scheiff | 2002 | DN 400 | 2 x Haltung (Schale) ^{*1} |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

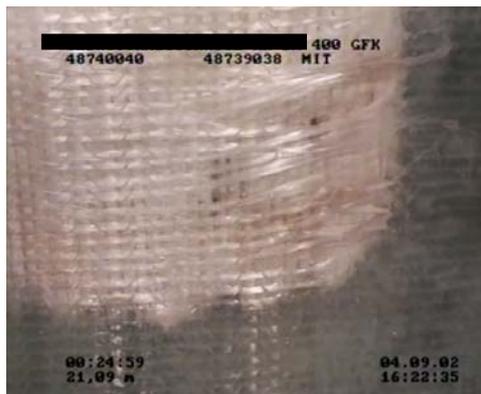
Auffälligkeiten: *Frei liegende Fasern im Querschnitt über die gesamte Haltung verteilt.*



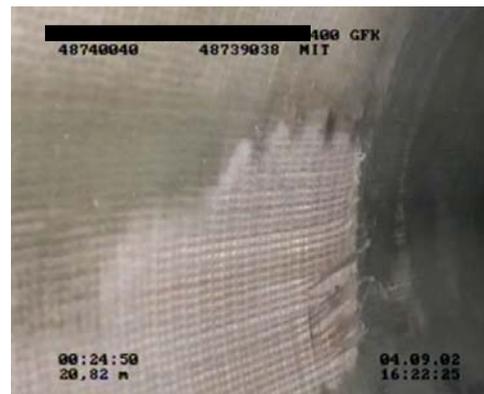
a) Ansicht Querschnitt



b) Detailansicht 1



c) Detailansicht 2



d) Detailansicht 4

Abb. A3.4: *Frei liegende Faserschichten im Querschnitt und im Detail*

Probenentnahmestellen: *Es wurde je eine Probe an einer optisch auf- (frei liegende Fasern) und einer optisch unauffälligen Stelle entnommen.*

Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen



a) Probenentnahme aus der Haltung, Ansicht von der Straßenoberfläche



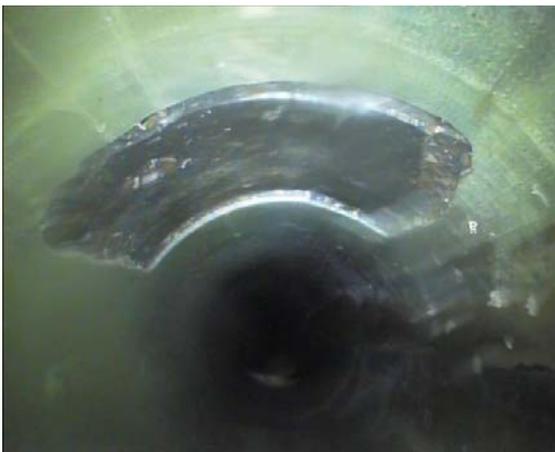
b) Vermessung des Probekörpers in UV-geschützter Umhüllung



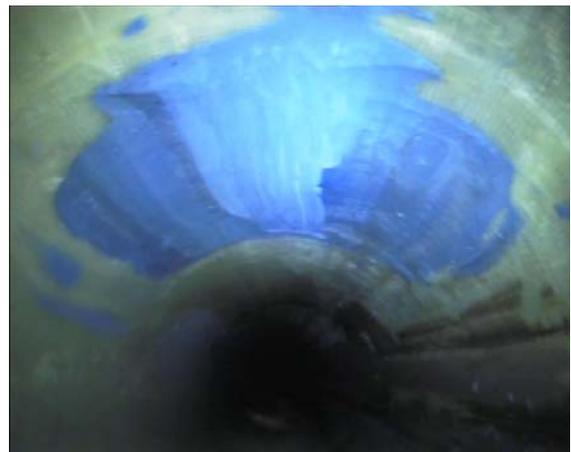
c) Umrüstung des Kanalroboters zum Setzen der Schalungen



d) Anmischen des Verpressharzes, Zwei-Komponenten Epoxid-Harz



e) Ansicht der Entnahmestelle vor der Reparatur



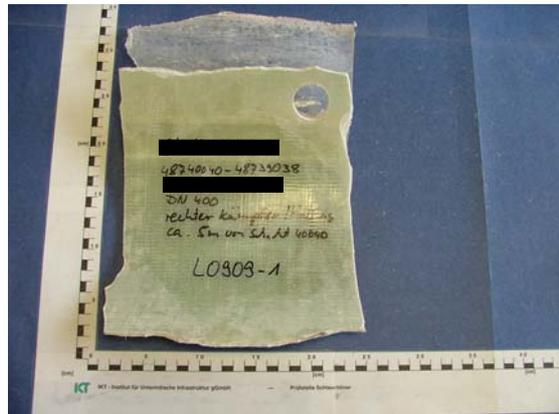
f) Ansicht der Entnahmestelle nach der Reparatur mittels Verpressharz

Abb. A3.5: Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen

Laborprüfungen und Ergebnisse



a) Probekörper L1 (frei liegende Fasern), Ansicht Innenseite



b) Probekörper L1 (ohne Auffälligkeit), Ansicht Innenseite



c) Probekörper L1 (frei liegende Fasern), Ansicht Außenseite



d) Probekörper L1 (ohne Auffälligkeit), Ansicht Außenseite

Abb. A3.6: Darstellung der Baustellenproben, Wareneingang im Labor

Tab. A3.4: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 8.500 | 200 | 4,20 |
| Haltungsprobe L1 (frei liegende Fasern) $t=0d$ | undicht | n. p. *2 | n. p. *2 | n. p. *2 |
| Haltungsprobe L1 (ohne Auffälligkeit) $t=0d$ | dicht | 16.368 | 423,47 | 3,06 |

n. p. = nicht prüfbar

*2 Die Prüfung im Drei-Punkt-Biegeversuch am Probekörper L1 (frei liegende Fasern) konnte nicht durchgeführt werden, da sich der Probekörper bereits durch leichteste Kräfteinwirkung händisch verbiegen ließ. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Sollwerte signifikant unterschritten werden.

Nachbeprobung 3

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.5: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|-----------------|-----------------|------------------------------------|
| 1 | Brandenburger Liner GMBH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | WinLine | 2001 / 2002 | DN 200 / DN 250 | 7 x Haltung (Schale) ^{*1} |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: *Ablösungen von Faserschichten in mehreren Haltungen (beobachtet im Rahmen der Gewährleistungsabnahme).*



a) Ablösungen der Faserschicht, Ansicht 1



b) Ablösungen der Faserschicht, Ansicht 2



c) Ablösungen der Faserschicht, Ansicht 3



d) Ablösungen der Faserschicht, Ansicht 4

Abb. A3.7: Ablösungen von Faserschichten, Beispiele aus der TV-Inspektion

Probenentnahmestellen: *Es wurden sieben Proben aus drei Haltungen entnommen, dabei wurden sowohl optisch auffällige (abgelöste Faserschichten) als auch optisch unauffällige Abschnitte gewählt.*

Probenentnahme



a) Trennschleifer zur händischen Entnahme von Haltungsproben



b) Händische Entnahme einer Haltungsprobe aus dem Schachtbereich



c) Fräsroboter zur Entnahme von Haltungsproben



d) Darstellung von zwei Haltungsproben (je 1 x mit und 1 x ohne Auffälligkeit)

Abb. A3.8: Baustellendokumentation und Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Anmerkungen:

An den Probekörpern wurden zur Ermittlung der Materialbeständigkeit verschiedene Prüfungen durchgeführt (z. B. Bestimmung des Glühverlustes, Ermittlung des Reststyrolgehaltes, IR-Spektroskopie). Die Untersuchungen wurden im Rahmen der Projektarbeit nicht abgeschlossen und laufen derzeit noch. Nachfolgend werden daher nur die Prüfergebnisse von vier durchgeführten Dichtheitsprüfungen dargestellt. Hierbei wurden jeweils zwei optisch auf- und unauffällige Proben aus einem Querschnitt (Sohle und Scheitel) gewählt.



a) Haltungsprobe 1, Sohle



b) Detailansicht Haltungsprobe 1, Sohle



c) Haltungsprobe 2, Sohle



d) Haltungsprobe 2, Scheitel

Abb. A3.9: Darstellung der Probekörper, Beispiele

Tab. A3.6: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | | | |
| Haltungsprobe L-1 * ² , Sohle (gelöste Fasern) | dicht | n. g. | n. g. | n. g. |
| Haltungsprobe L-1, Scheitel | dicht | n. g. | n. g. | n. g. |
| Haltungsprobe L-2 * ² , Sohle (gelöste Fasern) | dicht | n. g. | n. g. | n. g. |
| Haltungsprobe L-2, Scheitel | dicht | n. g. | n. g. | n. g. |

n. g. = nicht geprüft

*² Auch die Probekörper mit abgelösten Faserschichten zeigten in der Prüfung keine Undichtigkeiten auf. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die mechanischen Kennwerte signifikant unterschritten werden, da die Probekörper bereits durch leichteste Krafteinwirkung händisch biegsam sind.

Nachbeprobung 4

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.7: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|------------|-------------------------|
| 1 | INPIPE SWEDEN AB (INPIPE Liner) | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | R+S Rohrtechnik | 2002 | Ei 250/375 | 2 x Haltung (Schale) *1 |

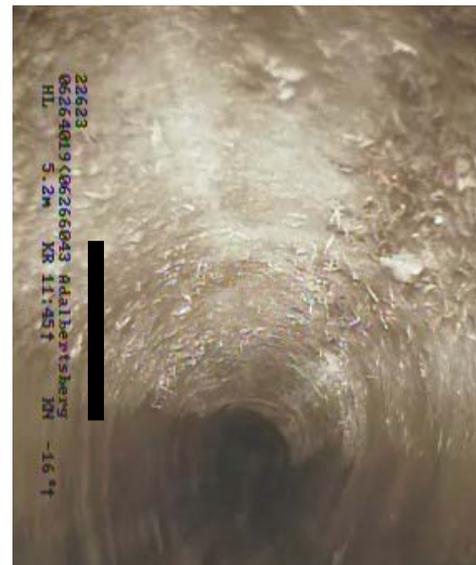
*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: In einer Kanalhaltung (Länge ca. 40 m) wurde im Rahmen einer Gewährleistungsabnahme am Haltungsanfang auf ca. 5 m Länge eine igelartige Oberflächenstruktur im Scheitel mit z. T. frei liegenden Fasern identifiziert.



a) Ansicht Querschnitt



b) Detailansicht

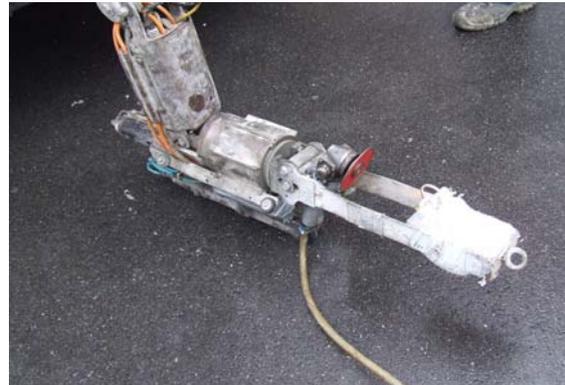
Abb. A3.10: Igelartige Oberflächenstruktur im Scheitel der Kanalhaltung, TV-Inspektion

Probenentnahmestellen: Es wurde je eine Probe an einer optisch auf- (igelartige Oberflächenstruktur) und einer optisch unauffälligen Stelle entnommen.

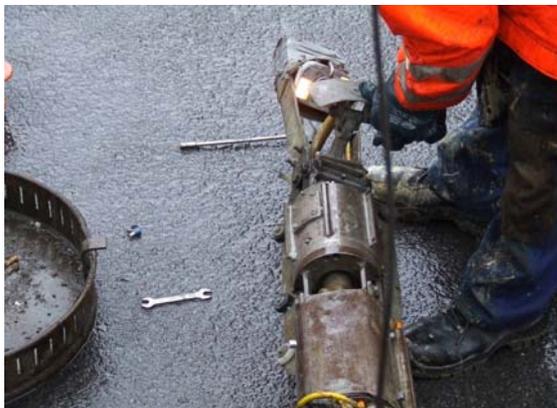
Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen



a) Baustelleneinrichtung, Vorbereitung des Kanalroboters zur Probenentnahme



b) Kanalroboter zur Entnahme von Linerproben aus Haltungen (Ei-Profil)



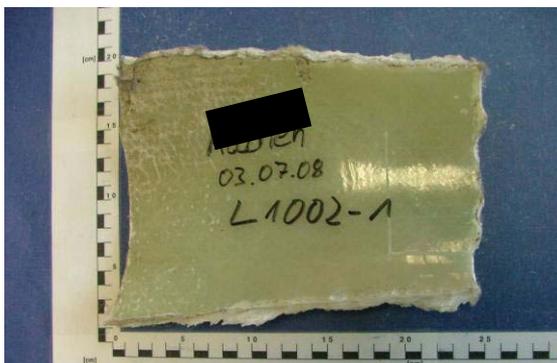
c) Umrüstung des Kanalroboters zum Verspachteln der Entnahmestellen



d) Anmischen der Verspachtelmasse, Zwei Komponenten Epoxid-Harz

Abb. A3.11: Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen

Laborprüfungen und Ergebnisse



a) Innenseite Probekörper 1, ohne optische Auffälligkeit



b) Innenseite Probekörper 2, frei liegende Fasern

Abb. A3.12: Darstellung der Probekörper, Wareneingang im Labor

Tab. A3.8: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------|
| Sollwerte | dicht | ~ 7.800 | 130 | 4,6 |
| Haltungsprobe L1-1, Scheitel $t=0$ d | dicht | 6.378 * ² | 253,39 | 5,76 |
| Haltungsprobe L1-2 * ⁵ , Scheitel $t=0$ d | undicht * ³ | n. p. * ⁴ | n. p. * ⁴ | n. p. |

n. p. = nicht prüfbar

*² Da der ermittelte Wert des Kurzzeit-E-Moduls (6.378 MPa) nur sehr gering über den in der statischen Berechnung angesetzten Langzeit-E-Modul liegt (6.000 MPa), kann davon ausgegangen werden, dass der geforderte Sollwert nicht eingehalten wird.

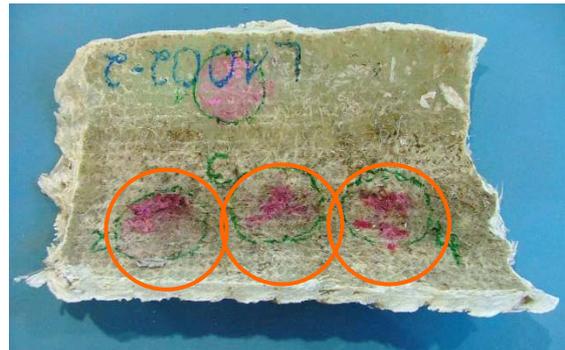
*³ Es wurde sowohl eine Unterdruck als auch eine drucklose Dichtheitsprüfung durchgeführt. In beiden Prüfungen lautet das Prüfergebnis „undicht“.

*⁴ Es kann davon ausgegangen werden, dass die mechanischen Kennwerte signifikant unterschritten werden, da der Probekörper bereits durch leichteste Krafteinwirkung händisch biegsam ist.

*⁵ Der Probekörper aus dem auffälligen Bereich zeichnet sich durch eine deutlich zu erkennende unzureichende Harztränkung aus, so dass frei liegende / nicht imprägnierte Glasfaserschichten zum Vorschein kommen (vgl. Bilder unten).



a) Außenseite des Probekörpers 2, nicht imprägnierte Fasern



b) Innenseite des Probekörpers 2, nicht imprägnierte Fasern

Abb. A3.13: Darstellung des undichten Probekörpers nach Dichtheitsprüfung mit Prüfdruck

Versuchsaufbau der Dichtheitsprüfung ohne Prüfdruck (Freispiegel)



a) Innenseite des Probekörpers 2



b) Außenseite des Probekörpers 2

Abb. A3.14: Darstellung des undichten Probekörpers nach Dichtheitsprüfung ohne Prüfdruck

Nachbeprobung 5

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.9: *Kenndaten*

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|--------------------|----------------------------|---------------------------|----------|-----------------|---------|--|
| 1 | Scheiff (Linertec) | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Scheiff | 2005 | DN 300 | 1 x Haltung (Schale) ^{*1} |
| 2 | Scheiff (Linertec) | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | Scheiff | 2005 | DN 500 | 2 x Haltung ^{*2} (Schale) ^{*1} |

^{*1} Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

^{*2} Während der Probenentnahme wurde festgestellt, dass ein zweiter Liner über den ersten in der Kanalhaltung verbaut war, daher wurden zwei Proben entnommen (innerer und äußerer Liner), vgl. Anmerkung.

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: *Keine optischen Auffälligkeiten bekannt, Nachbeprobung zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung im Rahmen der Gewährleistungsabnahme.*

Probenentnahmestellen: *Geplant war die Entnahme von zwei Haltungsproben aus zwei Linern (DN 300 u. DN 500); die Liner wurden bereits im Jahr 2005 im Rahmen der Bauabnahme durch die Prüfstelle für Bauprodukte des IKT geprüft.*

Anmerkung:

Während der Nachbeprobung des Liners der Nennweite DN 500 wurde festgestellt, dass ein zweiter Liner verbaut war (Liner über Liner). Nach Angaben des Netzbetreibers lagen keine Hinweise für diesen Sachverhalt vor, auch die Ergebnisse der im Rahmen der Bauabnahme durchgeführten Untersuchungen lieferten keine Hinweise für diese Vorgehensweise.

Nach Angaben des betroffenen Netzbetreibers hat sich später herausgestellt, dass unmittelbar nach erfolgter Sanierung mit einem ersten Liner von der ausführenden Firma ohne Absprache ein zweiter Liner während einesachteinsatzes eingezogen wurde. Es wird angenommen, dass mit dem zweiten Liner etwas „kaschiert“ oder „verbessert“ werden sollte.

Reparatur der Probenentnahmestellen



a) Setzen des Schalungselements am Kanalroboter



b) Schalung zur Injektion von Verpressharz, Reparatur der Entnahmestellen



c) Anmischen des Verpressharzes, Zwei-Komponenten Epoxid-Harz



d) Kartusche am Kanalroboter zum Verpressen des Harzes in die Schalung

Abb. A3.15: Reparatur der Entnahmestellen

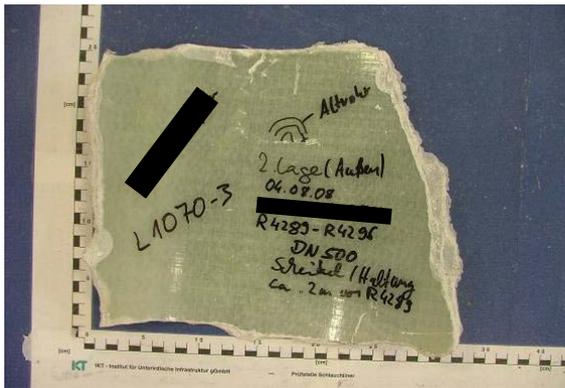
Laborprüfungen und Ergebnisse



a) Innenseite der Materialprobe aus der Bauabnahme (DN 500, ein Liner)



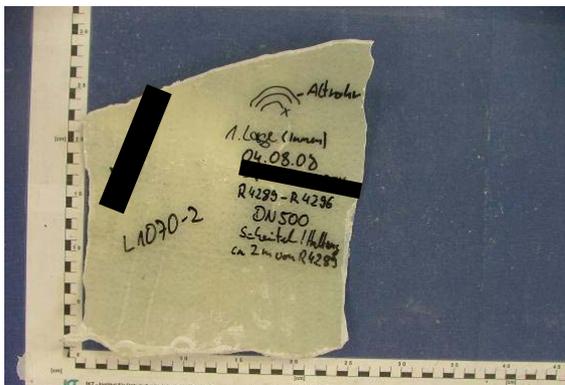
b) Außenseite der Materialprobe aus der Bauabnahme (DN 500, ein Liner)



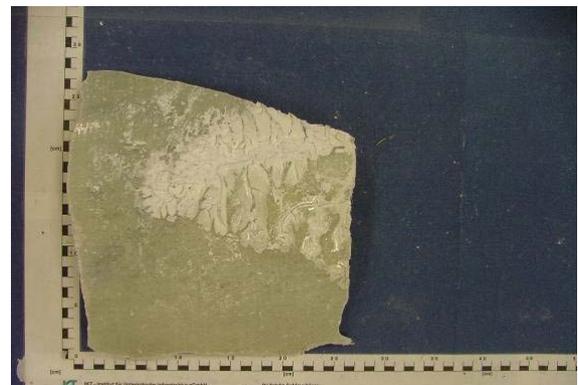
c) Innenseite der Materialprobe (1. Liner), Gewährleistungsabnahme (DN 500)



d) Außenseite der Materialprobe (1. Liner), Gewährleistungsabnahme (DN 500)



e) Innenseite der Materialprobe (2. Liner), Gewährleistungsabnahme (DN 500)



f) Außenseite der Materialprobe (2. Liner), Gewährleistungsabnahme (DN 500)

Abb. A3.16: Darstellung der Probekörper (DN 500), Bau- und Gewährleistungsabnahme

Tab. A3.10: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Sollwerte | dicht | 8.500 | 200 | 3,50 (DN 300) 5,00 (DN 500) |
| Haltungsprobe L1, DN 300 | dicht | 11.124 | 243,83 | 5,81 |
| Haltungsprobe L2, DN 500 (1. Liner) * ³ | dicht | 10.751 | 242,21 | 5,85 |
| Haltungsprobe L2, DN 500 (2. Liner) * ³ | dicht | 15.589 | 295,50 | 4,04 |
| Vergleichswerte aus der Bauabnahme (2005) DN 500 => ein Liner | | | | |
| Haltungsprobe L2, DN 500* | dicht | 14.280 | 268,27 | 6,50 |

*³ 1. Liner = mit Kontakt zum Altrohr / 2. Liner = mit Kontakt zum Abwasser

Nachbeprobung 6

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.11: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---------------------------|----------------------------|---|----------|-----------------|---------|-------------------------|
| 1 | Kanal Müller Gruppe (KMG) | NF / UP-Harz | Einzug - Inversion / Warmwasser Härtung | KMG | 2003 | DN 400 | 2 x Schacht (Schale) *1 |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: Im Rahmen der Gewährleistungsabnahme (TV-Inspektion) wurden verschiedene Auffälligkeiten, wie z. B. fleckenartige Verfärbungen, lokale Ausbeulungen, offensichtliche Undichtigkeiten, beobachtet.



a) Feuchtigkeit im linken Kämpfer, Ansicht Querschnitt



b) Feuchtigkeit im linken Kämpfer, Detailansicht



c) Lokale Ausbeulung (ca. 5 x 5 cm), Detailansicht



d) Fleckenartige Verfärbungen, Ansicht Querschnitt

Abb. A3.17: Auffälligkeiten im Rahmen der Gewährleistungsabnahme, Kanalinspektionsvideo

Probenentnahmestellen: Geplant war die Entnahme von vier Materialproben an ausgewählten Stellen (u. a. fleckenartige Verfärbung, offensichtliche Undichtigkeit).

Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen



a) Baustelleneinrichtung



b) Materialprobe nach der Entnahme



c) Tränkung der Glasfasermatte, Kurzliner



d) Kurzliner auf Packer gerollt



e) Infiltration von Grundwasser nach Fräsung der ersten Schnitte in Querrichtung



f) Reparatur der Entnahmestelle mit einem GFK-Kurzliner

Abb. A3.18: Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A3.12: Ergebnisse der Laborprüfungen ^{*2}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 2.800 | 36,00 | 6,00 |
| Haltungsprobe L1 (offensichtliche Undichtigkeit) | undicht ^{*3} | 4.495 | 49,15 | 7,40 |
| Haltungsprobe L2 (Flecken) | dicht | 4.229 | 50,39 | 7,99 |

^{*2} Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Entnahme (infiltrierendes Grundwasser) wurden nur zwei statt der geplanten vier Materialproben entnommen.

^{*3} Probekörper aus dem Bereich der offensichtlichen Undichtigkeit (vgl. Abb. A3.17 a und b); Haarriss auf der Rückseite bei der undichten Probe, vgl. Bilder unten.



a) Innenseite des Probekörpers



b) Außenseite des Probekörpers



c) Außenseite des Probekörpers, Detailansicht der undichten Stelle (Haarriss)

Abb. A3.19: Darstellung des undichten Probekörpers

Nachbeprobung 7

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.13: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---|----------------------------|--------------------------------|---|-----------------|-------------|------------------------------------|
| 1 | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | 2004 | Ei 900/1350 | 1 x Haltung* ¹ (Schale) |
| 2 | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | 2004 | Ei 900/1350 | 1 x Haltung* ¹ (Schale) |
| 3 | Kanal Müller Gruppe (KMG) | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Kanal Müller Gruppe (KMG) | 1995 | Ei 350/525 | 1 x Haltung* ² (Schale) |
| 4 | RS Technik AG (CityLiner) | NF / EP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Diringer und Scheidel | 1999 | Ei 300/450 | 1 x Haltung* ² (Schale) |
| 5 | Kanal Müller Gruppe (KMG) | NF / UP-Harz | Inversion / Warmwasser Härtung | Kanal Müller Gruppe (KMG) | 1996 | Ei 400/600 | 2 x Haltung* ³ (Schale) |

*¹ Schale = Probekörper ca. 30 x 40 cm groß

*² Schale = Probekörper ca. 10 x 15 cm groß

*³ Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: Z. T. Längsfalten und Ausbeulungen, darüber hinaus diente die Nachbeprobung zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung.



a) Längsfalte im Scheitel, L4



b) Kleine Ausbeulung im rechten Kämpfer, L2

Abb. A3.20: Beispielbilder aus der TV-Inspektion (2007)

Probenentnahmestellen: Geplant war die Entnahme von sieben Materialproben an z. T. ausgewählten Stellen (Längsfalten und Ausbeulungen) und z. T. willkürlich gewählten Stellen.

Probenentnahme



a) Probenentnahme aus der Haltung im begehbaren Bereich



b) Staubbildung bei Probenentnahme aus der Haltung



c) Materialprobe (ca. 30 x 40 cm) aus dem begehbaren Bereich (Probekörper L2)



d) Materialproben L5-1 und L5-2, Entnahme aus dem Schachtgerinne



e) Außenseite des Probekörpers L4



f) Innenseite des Probekörpers L4

Abb. A3.21: Probenentnahme

Laborprüfungen und Ergebnisse

Tab. A3.14: Ergebnisse der Laborprüfungen ^{*4}

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS- Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|---|--|------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Sollwerte | dicht | 2.800 | 36,00 | 19,00 (P. 1 u. 2) |
| Haltungsprobe L1, Scheitel _{t=0d} | dicht | 4.111 | 37,05 | 18,85 |
| Haltungsprobe L2, Scheitel _{t=0d} | dicht | 3.592 | 35,17 | 18,29 |
| Haltungsprobe L3, Scheitel _{t=0d} | dicht | n. p. | n. p. | n. p. |
| Haltungsprobe L4, Scheitel _{t=0d} | dicht | n. p. | n. p. | n. p. |
| Haltungsprobe L5-1, Schachtgerinne _{t=0d} | dicht | 3.881 | 60,04 | 12,83 ^{*5} |
| Haltungsprobe L5-2, Schachtgerinne _{t=0d} | dicht | 2.914 | 31,35 | 11,25 ^{*5} |

n. p. = nicht prüfbar, Probekörper zu klein bzw. mit Falten und Beulen

^{*4} Da ein Probekörper kraftschlüssig mit dem Altkanal verbunden war (kein Preliner, keine Außenfolie), wurden nur sechs statt der geplanten sieben Probekörper entnommen.

^{*5} Die Sollwerte sind nicht bekannt.

Nachbeprobung 8

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.15: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|------------|----------------------------|---------------------------|----------|-----------------|---------|-------------------------|
| 1 | Saertex | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | k. A. | 2004 | DN 400 | 1 x Haltung (Schale) *1 |
| 2 | Saertex | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | k. A. | 2004 | DN 400 | 2 x Haltung (Schale) *1 |
| 3 | Saertex | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | k. A. | 2004 | DN 400 | 1 x Haltung (Schale) *1 |

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: *Z. T. wellige Lineroberflächen und Beulen, darüber hinaus diente die Nachbeprobung zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung im Rahmen der Gewährleistungsabnahme.*



a) Lokale Beule im Sohlbereich



b) Wellige Oberflächenstruktur im Scheitel

Abb. A3.22: Auffälligkeiten im Rahmen der Gewährleistungsabnahme, Kanalinspektionsvideo

Probenentnahmestellen: *Geplant war die Entnahme von vier Materialproben an z. T. ausgewählten Stellen (Beulen, wellige Oberfläche) und z. T. willkürlich gewählten Stellen.*

Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen



a) Probenentnahme in einem Waldweg, Ansicht vom oberen Hang



b) Probenentnahme in einem Waldweg, Ansicht der Oberfläche des Waldwegs



c) Kanalroboter zum Fräsen von Linerproben aus der Haltung



d) Materialprobe nach Fräsung und Reinigung (ca. DIN A4 groß)



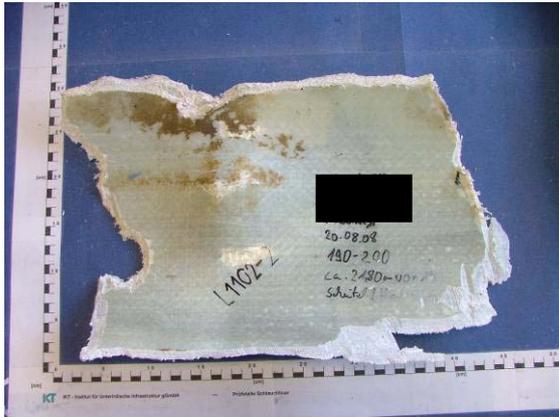
e) Reparatur der Probenentnahmestellen, Kurzliner auf Packer



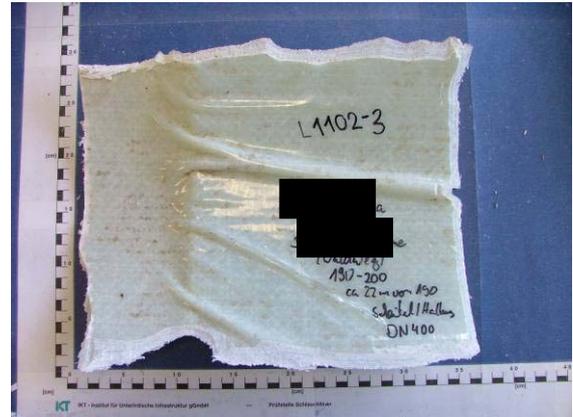
f) GFK-Kurzliner zur Reparatur, Ansicht im Kanal

Abb. A3.23: Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen

Laborprüfungen und Ergebnisse



a) Probekörper L2 (Sohle) mit lokaler Ausbeulung



b) Probekörper L2 (Scheitel) mit welliger Oberfläche und kl. Falten

Abb. A3.24: Ansicht der Probekörper im Labor, Beispiele

Tab. A3.16: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 12.000 | 350,00 | 4,00 |
| Haltungsprobe L1, Sohle $t=0d$ | dicht | 15.834 | 398,23 | 4,26 |
| Haltungsprobe L2, Sohle $t=0d$ | dicht | 14.564 | 340,69 | 4,43 |
| Haltungsprobe L2, Scheitel $t=0d$ | dicht | 16.651 | 344,35 | 4,62 |
| Haltungsprobe L3, Scheitel $t=0d$ | dicht | 15.232 | 351,37 | 4,22 |

Nachbeprobung 9

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

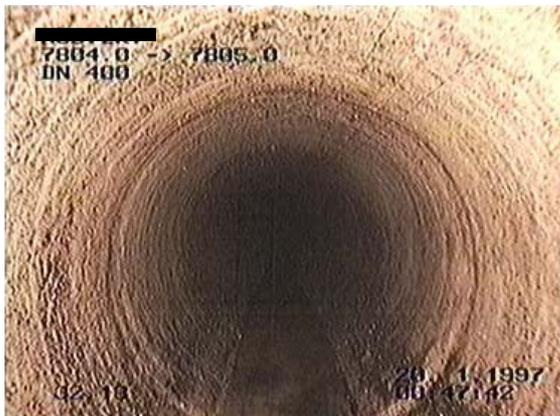
Tab. A3.17: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|---------|-------------------------------------|
| 1 | Kanal Müller Gruppe (KMG) | NF / UP-Harz | k. A. | Kanal Müller Gruppe (KMG) | 1998 | DN 400 | 1 x Haltung (Schale) * ¹ |
| 1 | Kanal Müller Gruppe (KMG) | NF / UP-Harz | k. A. | Kanal Müller Gruppe (KMG) | 1998 | DN 400 | 1 x Haltung (Schale) * ¹ |

*¹ Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: Keine optischen Auffälligkeiten vorhanden (mit Ausnahme von leichten Ablösungen der Innenbeschichtung), Nachbeprobung diente zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung nach zehn Jahren Betrieb.



a) Schlauchliner ohne Auffälligkeiten, Ansicht Querschnitt



b) Ablösung der Innenbeschichtung im linken Kämpfer, Detailansicht

Abb. A3.25: TV-Inspektionsaufnahmen aus der Bauabnahme (1999)

Probenentnahmestellen: Es wurden zwei Proben aus zwei Haltungen entnommen, dabei wurden die Stellen zur Vereinfachung von Entnahme und Reparatur in Schachtnähe gewählt.

Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen



a) Begutachtung der Entnahmestelle durch den Netzbetreiber



b) Entnahme einer Haltungsprobe, händisch aus dem Schachtbereich



c) Ansicht einer Materialprobe nach der Entnahme aus der Haltung



d) Reparatur der Entnahmestelle mittels Packer und Epoxid-Harz



e) Händisches Auftragen des Epoxid-Harzes auf den Packer



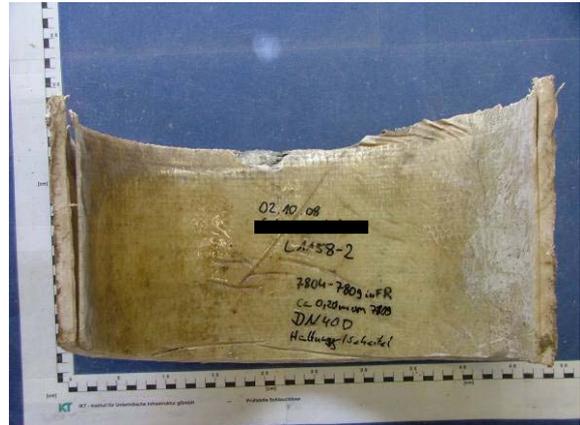
f) Einschieben des Packers in die Haltung zur Reparatur der Entnahmestelle

Abb. A3.26: Probenentnahme und Reparatur der Entnahmestellen

Laboruntersuchungen: Prüfungen und Ergebnisse



a) Innenseite von Haltungsprobe L1



b) Außenseite von Haltungsprobe L2, Kurzliner über Schlauchliner



c) Seitenansicht Haltungsprobe L2, Kurz- und Schlauchliner

Abb. A3.27: Darstellung der Probekörper

Tab. A3.18: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------|
| Sollwerte | dicht | k. A. ^{*2} | k. A. ^{*2} | k. A. ^{*2} |
| Haltungsprobe L1, Scheitel _{t=0d} | undicht | 2.300 | 31,91 | 8,52 |
| Haltungsprobe L2 ^{*3} , Scheitel _{t=0d} | dicht | 2.720 | 58,75 | 10,49 |

^{*2} Die Sollwerte liegen nicht vor.

^{*3} Für die Prüfungen (Dichtheit und Mechanik) wurde der Kurzliner entfernt, so dass nur der Schlauchliner geprüft wurde.

Nachbeprobung 10

Teil 1: Glasfaser-Schlauchliner

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.19: *Kenndaten*

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|-----------------|---------|--|
| - | Brandenburger Liner GMBH & Co. KG | GFK / UP-Harz | Einzug / UV-Licht Härtung | k. A. | 2003 | DN 250 | 4 x Haltung (Schale) * ¹ aus drei verschiedenen Kanalhaltungen |

k. A. = keine Angabe

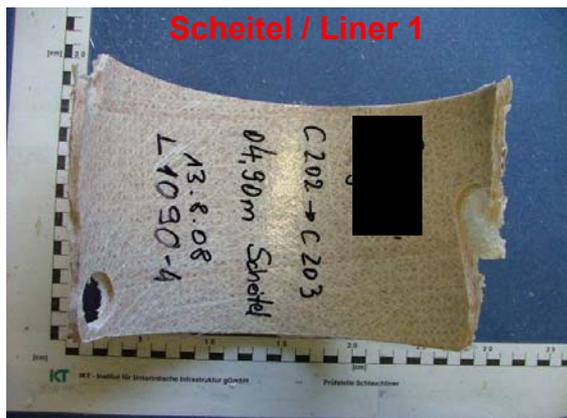
*¹ Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

Auffälligkeiten: Keine optischen Auffälligkeiten vorhanden, Nachbeprobung zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung nach fünf Jahren Betrieb im Rahmen der Gewährleistungsabnahme.

Probenentnahmestellen: Es wurden je vier willkürlich gewählte Proben aus drei Haltungen entnommen.

Laboruntersuchungen: Prüfungen und Ergebnisse



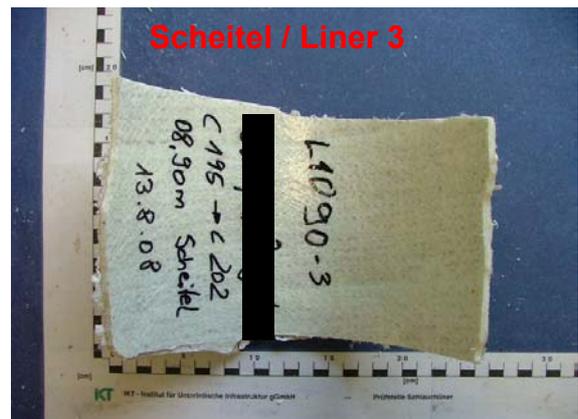
a) Haltungsprobe, Scheitel (Liner 1)



b) Haltungsprobe, Scheitel (Liner 2)



c) Haltungsprobe, Sohle (Liner 2)



d) Haltungsprobe, Scheitel (Liner 3)

Abb. A3.28: Darstellung der Baustellenproben, Wareneingang im Labor

Tab. A3.20: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS-Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Sollwerte | dicht | 9.500 | 150,00 | 4,20 |
| Haltungsprobe L1, Scheitel $t=0d$ | dicht | 14.119 | 256,16 | 4,51 ^{*3} |
| Haltungsprobe L2, Scheitel $t=0d$ | dicht | 13.649 | 240,94 | 3,75 |
| Haltungsprobe L3 ^{*2} , Sohle $t=0d$ | dicht | 11.760 | 205,43 | 4,49 |
| Haltungsprobe L3, Scheitel $t=0d$ | dicht | 10.352 | 210,97 | 4,22 |

^{*2} Der Probekörper mit deutlich zu erkennenden Ablösungen im Bereich der ersten Faserschicht erfüllt die geforderten Sollwerte.

^{*3} Der Sollwert der Wanddicke beträgt 4,90 mm für die Haltungsprobe L1.

Teil 2: Nadelfilz-Schlauchliner

Sanierungssystem, Altrohr, Beprobungsumfang

Tab. A3.21: Kenndaten

| Liner Nr. | Hersteller | Trägermaterial und Harztyp | Einbauverfahren | Baufirma | Einbauzeitpunkt | Altrohr | Beprobungsumfang |
|-----------|---|----------------------------|---------------------------|---|-----------------|-----------------------|---|
| - | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | NF / UP-Harz | Inversion / Härtung k. A. | Insituform Rohrsanierungstechniken GmbH | 2002 - 2004 | DN 200 - DN 600 | 21 x Haltung (Schale/Ring) ^{*1*2} aus 17 verschiedenen Kanalhaltungen |

k. A. = keine Angabe

*1 Schale = Probekörper ca. DIN A4 groß

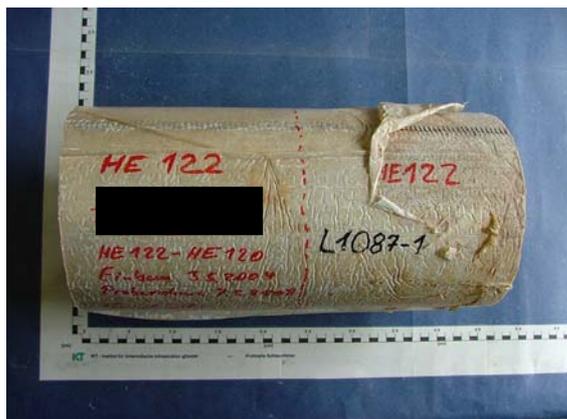
*2 Ring = Linerabschnitt von ca. 30 cm Länge

Auffälligkeiten und Probenentnahmestellen

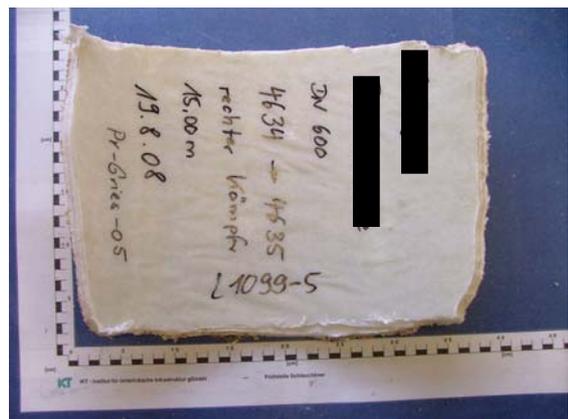
Auffälligkeiten: Keine optischen Auffälligkeiten vorhanden, Nachbeprobung zur Einschätzung von Einflüssen der Materialalterung nach fünf Jahren Betrieb im Rahmen der Gewährleistungsabnahme.

Probenentnahmestellen: Es wurden 21 willkürlich gewählte Proben aus 17 Haltungen entnommen.

Laboruntersuchungen: Prüfungen und Ergebnisse



a) Haltungsprobe, Linerabschnitt von ca. 30 cm Länge



b) Haltungsprobe, Schale ca. DIN A4 groß

Abb. A3.29: Darstellung der Probekörper (Wareneingang im Labor), Beispiele

Tab. A3.22: Ergebnisse der Laborprüfungen

| Probenbezeichnung | Dichtheit nach APS- Prüfrichtlinie | E-Modul Kurzzeit [MPa] | Biegespannung Kurzzeit [MPa] | Wanddicke [mm] |
|--|--|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Sollwerte | dicht | 2.800 | 36,00 | siehe () |
| Haltungsprobe 1, Bj. 2004 DN 200 _{t=0d} | undicht | 2.067 | 38,85 | 4,00 (2,30) |
| Haltungsprobe 2, Bj. 2004 DN 200 _{t=0d} | undicht | 2.713 | 27,46 | 6,69 (4,70) |
| Haltungsprobe 3, Bj. 2004 DN 200 _{t=0d} | undicht | 3.082 | 33,17 | 7,33 (4,70) |
| Haltungsprobe 4, Bj. 2004 DN 200 _{t=0d} | dicht | 3.733 | 33,90 | 7,25 (4,70) |
| Haltungsprobe 5, Bj. 2004 DN 200 _{t=0d} | undicht | 3.187 | 31,32 | 7,56 (4,70) |
| Haltungsprobe 6, Bj. 2002 DN 200 _{t=0d} | undicht | 2.563 | 33,09 | 7,60 (6,00) |
| Haltungsprobe 7, Bj. 2002 DN 250 _{t=0d} | undicht | 3.863 | 48,32 | 6,10 (4,50) |
| Haltungsprobe 8, Bj. 2002 DN 250 _{t=0d} | undicht | 3.921 | 42,26 | 5,61 (4,50) |
| Haltungsprobe 9, Bj. 2002 DN 250 _{t=0d} | undicht | 3.376 | 38,69 | 6,20 (4,50) |
| Haltungsprobe 10, Bj. 2002 DN 250 _{t=0d} | undicht | 3.047 | 32,64 | 6,23 (4,50) |
| Haltungsprobe 11, Bj. 2003 DN 600 _{t=0d} | undicht | 2.618 | 34,86 | 5,72 (4,50) |
| Haltungsprobe 12, Bj. 2002 DN 250 _{t=0d} | undicht | 3.423 | 42,07 | 5,59 (4,50) |
| Haltungsprobe 13, Bj. 2002 DN 250 _{t=0d} | dicht | 3.910 | 37,33 | 9,79 (7,50) |
| Haltungsprobe 14, Bj. 2003 DN 400 _{t=0d} | dicht | 4.130 | 44,85 | 7,26 (6,00) |
| Haltungsprobe 15, Bj. 2003 DN 400 _{t=0d} | dicht | 4.432 | 46,33 | 7,07 (6,00) |
| Haltungsprobe 16, Bj. 2003 DN 250 _{t=0d} | dicht | 3.333 | 37,13 | 6,25 (4,50) |
| Haltungsprobe 17, Bj. 2003 DN 250 _{t=0d} | undicht | 3.027 | 36,69 | 5,49 (4,50) |
| Haltungsprobe 18, Bj. 2002 DN 200 _{t=0d} | undicht | 3.516 | 45,78 | 4,91 (k. A.) |
| Haltungsprobe 19, Bj. 2002 DN 200 _{t=0d} | undicht | 3.501 | 44,91 | 4,35 (k. A.) |
| Haltungsprobe 19, Bj. 2002 DN 200 _{t=0d} | undicht | 3.190 | 48,91 | 4,68 (k. A.) |
| Haltungsprobe 19, Bj. 2002 DN 200 _{t=0d} | undicht | 3.408 | 47,01 | 4,95 (k. A.) |

k. A. = keine Angabe (Sollwerte liegen nicht vor)

Anhang 4: Statische Berechnungen

**durch die Fachhochschule Münster,
Fachbereich Bauingenieurwesen
Prof. Dr.-Ing. B. Falter**

**nach dem ATV-Merkblatt 127-2
mit dem Programm Linerb
DN 300, Beton, Linerwanddicke $s_L = 5,0$ mm, Altrohrzustand I**

Abkürzungsverzeichnis

| Größe | Einheit | Benennung |
|----------------|---------|---|
| h_F | mm | Faltenhöhe |
| w_S | %, mm | Größe des Ringspaltes |
| w_u | mm | Höhe der elastischen Verformung in der Linersohle |
| w_v | %, mm | Höhe der örtlichen Vorverformung |
| α | ° | Öffnungswinkel der örtlichen Vorverformung |
| α_F | ° | Öffnungswinkel der Falte |
| L_V | mm | Länge der örtlichen Vorverformung |
| a, b, c | mm | Länge der Einzelbereiche der örtlichen Vorverformung |
| a_E, b_E | mm | Ellipsenlänge, Ellipsenbreite |
| ½ -System | - | FE-Modell, Symmetriebedingung längs ($0 \leq \varphi \leq 180^\circ$) |
| ¼ -System | - | FE-Modell, Symmetriebedingung längs und quer in Modellmitte (L/2) |
| Grundmodell | - | FE-Modell ohne Imperfektion |
| Standardmodell | - | FE-Modell mit Imperfektionen nach ATV-M 127-2 |

Übrige Bezeichnungen s. Merkblatt ATV-M 127-2

A örtliche Vorverformung $w_v = 2\%$ des Linerradius, $h_{w,so} = 1,5\text{ m}$

**Statische Berechnung eines Liners
nach ATV-M 127-2:2000-01**

Program LINERB, Version 7.2

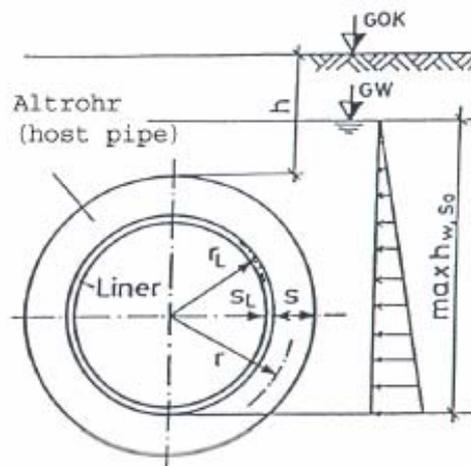
Projekt: DN 300
 Haltung: Zu 1, örtliche Vorverformung, $h_{w,so} = 1,5\text{ m}$
 Datum: 17.02.2009

Altrohr, Werkstoff: Beton
 Kreisquerschnitt, Nennweite DN 300

Altrohrzustand I

Linerwerkstoff: Synthesefaserlaminat - Wanddicke: $s_L = 5\text{ mm}$

Geometrie:



Voraussetzung der statischen Berechnung ist die zutreffende Einschätzung des Altrohrzustandes, die Übereinstimmung der Eingaben mit der Checkliste nach ATV-M 127-2, Anhang A7 sowie die Überprüfung der nach der Aushärtung des Liners erzielten Werkstoffkennwerte und Wanddicken.

Münster, den _____

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, $hw_{So} = 1,5$ m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -A1 -

Statische Berechnung von Linern nach Merkblatt ATV-M 127-2 (01.00)

*** Eingaben

* Altrohr - Kreis

Rohrwerkstoff: Beton

| | | | |
|------------------|-------|---|-----------|
| Nennweite | DN | = | 300 mm |
| Innendurchmesser | d_i | = | 300,00 mm |
| Altrohrzustand | AZ | = | I |

* Liner - Kreis

Werkstoff: Synthefaserlaminat

| | | | |
|--------------------------------|---------------|---|------------------------|
| Radius (außen) | r_{aL} | = | 150,0 mm |
| Wanddicke (ohne Preliner etc.) | s_L | = | 5,0 mm |
| Langzeit-E-Modul | EL | = | 1400 N/mm ² |
| Querkontraktionszahl | μ | = | 0,35 |
| Langzeit-Biegezugfestigkeit | σ_{bz} | = | 18,0 N/mm ² |
| Langzeit-Druckfestigkeit | σ_D | = | 25,0 N/mm ² |
| erforderliche Sicherheit | γ | = | 1,0 |

* Einbaubedingungen

Örtliche Vorverformung des Altrohres

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---|---------|
| bzw. des Liners | $wv/rL \cdot 100$ | = | 2,00 % |
| Lage der Vorverformung | ϕ_V | = | 180,0 ° |
| Öffnungswinkel (symmetrische Form) | $2\phi_1$ | = | 40,0 ° |
| Spaltweite zwischen Altrohr und Liner | $ws/rL \cdot 100$ | = | 0,50 % |

* Einwirkungen

| | | | |
|------------------------|------------|---|-------------------------|
| Grundwasser über Sohle | $hw_{,So}$ | = | 1,50 m |
| Wichte der Flüssigkeit | γ_W | = | 10,00 kN/m ³ |
| Wichte des Liners | γ_L | = | 0,00 kN/m ³ |

* berechnete Eingabewerte

| | | | |
|--|-----------|---|----------------------------|
| Liner, mittlerer Radius | r_L | = | 147,5 mm |
| Rohrsteifigkeit des Liners (mit r_L ermittelt) | SRL | = | 4,54E-03 N/mm ² |
| r/s-Verhältnis | r_L/s_L | = | 29,5 |
| Tiefe der Vorverformung | wv | = | 3,0 mm |
| Spaltweite (Ringspalt) | ws | = | 0,7 mm |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, hwSo = 1,5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -A2 -

*** Zwischenergebnisse

* Iterationen

(γfache Lasten mit $\gamma = 1,00$)
 maximale Verschiebungsgröße [cm]:

| | | | | | |
|----|---|---------|----|----|---------|
| it | 5 | -0,4181 | it | 9 | -0,3656 |
| it | 6 | -0,4058 | it | 10 | -0,3633 |
| it | 7 | -0,3875 | it | 11 | -0,3614 |
| it | 8 | -0,3779 | it | 12 | -0,3613 |

Schnittkräfte (rechte Profilhälfte) nach Theorie II. Ordnung

(Alle Schnittkräfte sind auf 1 cm Rohrlänge bezogen.)

Scheitel = Stab 1a, Kämpfer = Stab 19a, Sohle = Stab 36e

| Stab | Na [N] | Va [N] | Ma [Ncm] | Stab | Na [N] | Va [N] | Ma [Ncm] |
|------|--------|--------|----------|------|--------|--------|----------|
| 1 | -21,55 | 0,00 | 0,60 | 2 | -21,55 | 0,01 | 0,60 |
| 3 | -21,55 | 0,02 | 0,60 | 4 | -21,55 | 0,03 | 0,60 |
| 5 | -21,55 | 0,04 | 0,60 | 6 | -21,55 | 0,05 | 0,60 |
| 7 | -21,55 | 0,06 | 0,60 | 8 | -21,55 | 0,07 | 0,60 |
| 9 | -21,55 | 0,08 | 0,60 | 10 | -21,55 | 0,09 | 0,60 |
| 11 | -21,54 | 0,10 | 0,60 | 12 | -21,54 | 0,11 | 0,60 |
| 13 | -21,54 | 0,12 | 0,60 | 14 | -21,54 | 0,13 | 0,60 |
| 15 | -21,54 | 0,14 | 0,60 | 16 | -21,53 | 0,22 | 0,59 |
| 17 | -21,54 | -0,14 | 0,68 | 18 | -21,60 | -0,79 | 0,28 |
| 19 | -21,67 | -0,64 | -0,95 | 20 | -21,73 | -0,50 | -1,89 |
| 21 | -21,77 | -0,38 | -2,63 | 22 | -21,80 | -0,26 | -3,18 |
| 23 | -21,82 | -0,16 | -3,53 | 24 | -21,82 | -0,07 | -3,70 |
| 25 | -21,82 | 0,01 | -3,70 | 26 | -21,80 | 0,07 | -3,53 |
| 27 | -21,77 | 0,13 | -3,22 | 28 | -21,73 | 0,17 | -2,71 |
| 29 | -21,68 | 0,20 | -2,08 | 30 | -21,63 | 0,21 | -1,36 |
| 31 | -21,58 | 0,20 | -0,60 | 32 | -21,53 | 0,19 | 0,17 |
| 33 | -21,45 | 0,61 | 0,91 | 34 | -21,25 | 1,75 | 2,20 |
| 35 | -21,04 | 1,85 | 4,97 | 36 | -20,97 | 0,78 | 7,75 |
| Stab | Ne [N] | Ve [N] | Me [Ncm] | | | | |
| 36 | -20,97 | 0,78 | 8,89 | | | | |

* maßgebende Schnittgrößen (durch γ dividiert)

| | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|----|----------|---------|-------|--------|
| ΣN | -21,6 | -21,8 | -21,0 | N/cm |
| ΣM | 0,6 | -3,7 | 8,9 | Ncm/cm |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, hwSo = 1,5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -A3 -

*** Ergebnisse

* Spannungsnachweis Liner

| | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---------------|----------|---------|---------------|-------------------|
| N | -2,155 | -2,182 | -2,097 | N/mm |
| M | 0,598 | -3,703 | 8,895 | Nmm/mm |
| σ_i | -0,286 | -1,335 | 1,739 | N/mm ² |
| σ_a | -0,573 | 0,442 | -2,530 | N/mm ² |
| γ_{bZ} | 99,999 | 40,710 | 10,348 | |
| γ_D | 43,642 | 18,724 | 9,881 | |
| erf γ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | (M 127-2, Tab. 4) |

Bem.: Bei einer Ausgabe von $\gamma_{bZ} = 99,999$ sind keine Zugspannungen vorhanden.

* Verformungsnachweis

| | | |
|--|----------|--------------------|
| a) spannungslose örtl. Vorverformung | wv | 2,95 mm |
| b) elastische Verformung (+ nach innen) nach Theorie II. Ordnung, im Scheitel in der Sohle | wo wu | 0,00 mm 2,14 mm |
| c) Gesamtverformung auf DN bezogen | w sv | 3,61 mm 1,72 % |
| Anhaltswert für zul δ_v (ATV-M 127-2, 6.5.2): | | 10 % |

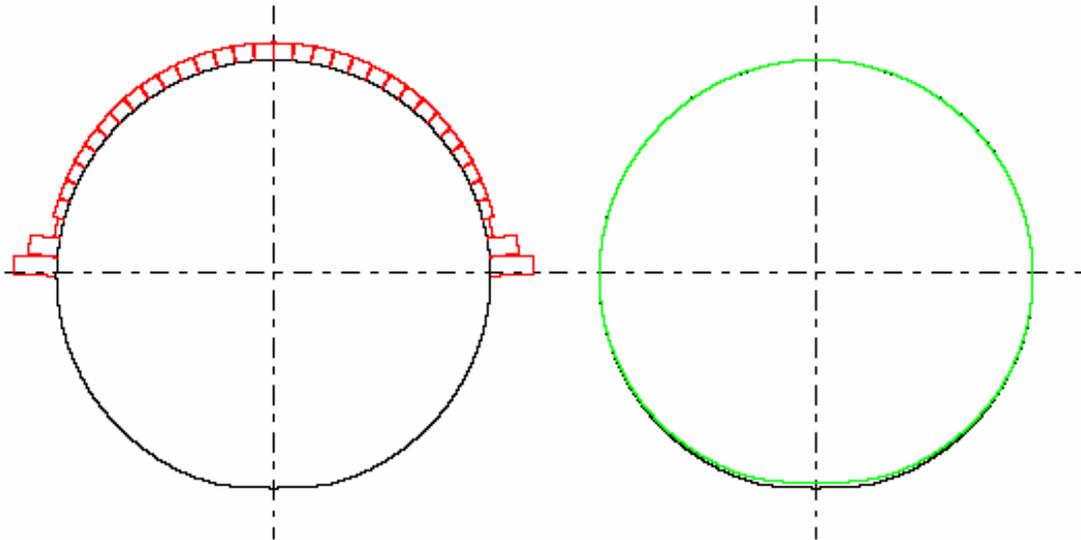
* Stabilitätsnachweis

| | | |
|--|-------------------------|--------------------------|
| über Linersohle vorhandener Grundwasserdruck | pa | 15,00 kN/m ² |
| Durchschlagbeiwert für starr gebettete Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt: $2.62 \cdot (rL/sL)^{0.8} =$ | α_D | 39,28 |
| Durchschlaglast, Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt: krit pa = | $\alpha_D \cdot SL$ | 203,42 kN/m ² |
| zum Vergleich: freier Liner krit pas = $3.0 \cdot SL$ | | 15,54 kN/m ² |
| Abminderungsfaktoren, Parameter gemeinsamer Faktor für örtliche Vorverformung, und Spaltbildung (vgl. ATV-M 127-2, 6.5.3.1) | rL/sL $\kappa_{v,s}$ | 29,50 0,597 |
| abgeminderte Durchschlaglast $\kappa_{v,s} \cdot \text{krit pa}$ | | 121,50 kN/m ² |
| vorhandene Sicherheit gegen Durchschlagen | vorh γ | 8,10 |
| erforderliche Sicherheit | erf γ_I | 1,00 |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, hwSo = 1,5 m

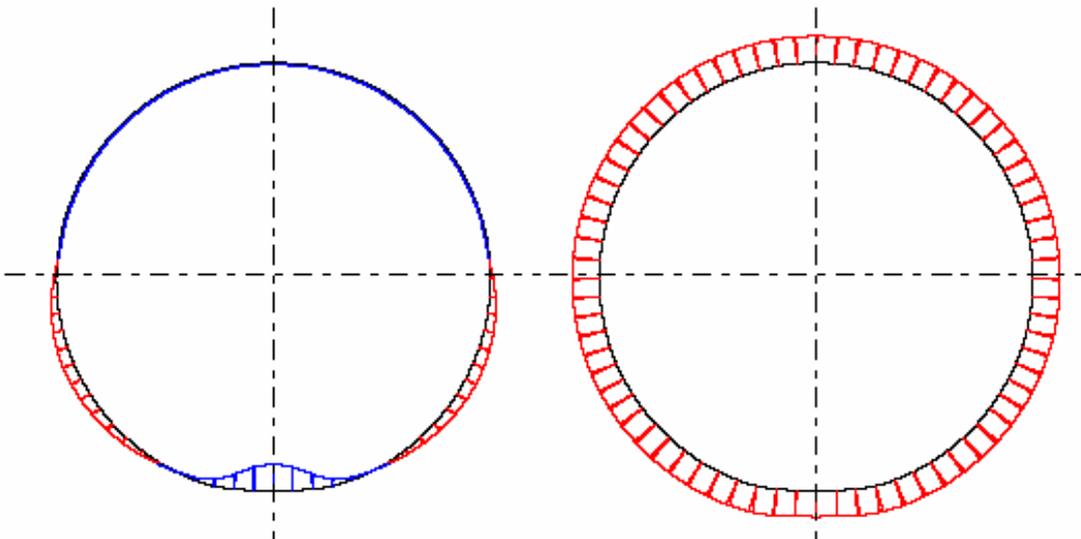
Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -A4 -



oben: Kontaktkräfte, max|K| = .809 N/cm
 unten: M-Linie, max|M| = 8.895 Nm/cm

Biegelinie, max|w| = .361 cm (nicht überhöht)
 N-Linie, max|N| = 21.624 N/cm



B örtliche Vorverformung $w_v = 2\%$ des Linerradius, $h_{w,So} = 5,0$ m

Statische Berechnung eines Liners nach ATV-M 127-2:2000-01

Program LINERB, Version 7.2

Projekt: DN 300

Haltung: Zu 1, örtliche Vorverformung, $h_{w,So} = 5$ m

Datum: 17.02.2009

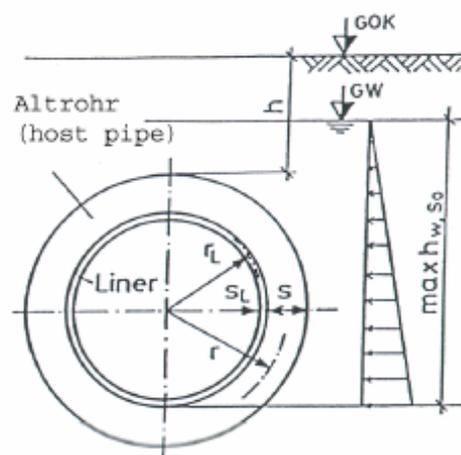
Altrohr, Werkstoff: Beton

Kreisquerschnitt, Nennweite DN 300

Altrohrzustand I

Linerwerkstoff: Synthesefaserlaminat - Wanddicke: $s_L = 5$ mm

Geometrie:



Voraussetzung der statischen Berechnung ist die zutreffende Einschätzung des Altrohrzustandes, die Übereinstimmung der Eingaben mit der Checkliste nach ATV-M 127-2, Anhang A7 sowie die Überprüfung der nach der Aushärtung des Liners erzielten Werkstoffkennwerte und Wanddicken.

Münster, den _____

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, $hw_{So} = 5$ m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -B1 -

Statische Berechnung von Linern nach Merkblatt ATV-M 127-2 (01.00)

*** Eingaben

* Altrohr - Kreis

Rohrwerkstoff: Beton

| | | | |
|------------------|-------|---|-----------|
| Nennweite | DN | = | 300 mm |
| Innendurchmesser | d_i | = | 300,00 mm |
| Altrohrzustand | AZ | = | I |

* Liner - Kreis

Werkstoff: Synthefaserlaminat

| | | | |
|--------------------------------|---------------|---|------------------------|
| Radius (außen) | r_L | = | 150,0 mm |
| Wanddicke (ohne Preliner etc.) | s_L | = | 5,0 mm |
| Langzeit-E-Modul | EL | = | 1400 N/mm ² |
| Querkontraktionszahl | μ | = | 0,35 |
| Langzeit-Biegezugfestigkeit | σ_{bz} | = | 18,0 N/mm ² |
| Langzeit-Druckfestigkeit | σ_D | = | 25,0 N/mm ² |
| erforderliche Sicherheit | γ | = | 1,0 |

* Einbaubedingungen

Örtliche Vorverformung des Altrohres

| | | | |
|---------------------------------------|--------------------|---|---------|
| bzw. des Liners | $wv/r_L \cdot 100$ | = | 2,00 % |
| Lage der Vorverformung | ϕ_V | = | 180,0 ° |
| Öffnungswinkel (symmetrische Form) | $2\phi_1$ | = | 40,0 ° |
| Spaltweite zwischen Altrohr und Liner | $ws/r_L \cdot 100$ | = | 0,50 % |

* Einwirkungen

| | | | |
|------------------------|------------|---|-------------------------|
| Grundwasser über Sohle | hw_{So} | = | 5,00 m |
| Wichte der Flüssigkeit | γ_W | = | 10,00 kN/m ³ |
| Wichte des Liners | γ_L | = | 0,00 kN/m ³ |

* berechnete Eingabewerte

| | | | |
|--|-----------|---|----------------------------|
| Liner, mittlerer Radius | r_L | = | 147,5 mm |
| Rohrsteifigkeit des Liners (mit r_L ermittelt) | SRL | = | 4,54E-03 N/mm ² |
| r/s-Verhältnis | r_L/s_L | = | 29,5 |
| Tiefe der Vorverformung | wv | = | 3,0 mm |
| Spaltweite (Ringspalt) | ws | = | 0,7 mm |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, hwSo = 5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -B2 -

*** Zwischenergebnisse

* Iterationen

(γ -fache Lasten mit $\gamma = 1,00$)
 maximale Verschiebungsgröße [cm]:

| | | | | | |
|----|----|---------|----|----|---------|
| it | 9 | -1,1013 | it | 13 | -0,6229 |
| it | 10 | -0,6771 | it | 14 | -0,6240 |
| it | 11 | -0,6390 | it | 15 | -0,6240 |
| it | 12 | -0,6280 | it | 16 | -0,6240 |

Schnittkräfte (rechte Profilhälfte) nach Theorie II. Ordnung

(Alle Schnittkräfte sind auf 1 cm Rohrlänge bezogen.)

Scheitel = Stab 1a, Kämpfer = Stab 19a, Sohle = Stab 36e

| Stab | Na [N] | Va [N] | Ma [Ncm] | Stab | Na [N] | Va [N] | Ma [Ncm] |
|------|--------|--------|----------|------|--------|--------|----------|
| 1 | -74,91 | 0,02 | 0,68 | 2 | -74,91 | 0,06 | 0,68 |
| 3 | -74,91 | 0,10 | 0,68 | 4 | -74,91 | 0,14 | 0,68 |
| 5 | -74,91 | 0,18 | 0,68 | 6 | -74,91 | 0,22 | 0,68 |
| 7 | -74,91 | 0,26 | 0,68 | 8 | -74,91 | 0,30 | 0,68 |
| 9 | -74,90 | 0,34 | 0,68 | 10 | -74,90 | 0,38 | 0,68 |
| 11 | -74,90 | 0,42 | 0,68 | 12 | -74,90 | 0,46 | 0,68 |
| 13 | -74,89 | 0,50 | 0,68 | 14 | -74,89 | 0,54 | 0,68 |
| 15 | -74,89 | 0,58 | 0,68 | 16 | -74,88 | 0,62 | 0,68 |
| 17 | -74,88 | 0,65 | 0,68 | 18 | -74,88 | 0,69 | 0,68 |
| 19 | -74,89 | 0,73 | 0,68 | 20 | -74,88 | 0,77 | 0,68 |
| 21 | -74,88 | 0,80 | 0,68 | 22 | -74,87 | 1,04 | 0,67 |
| 23 | -74,89 | 0,00 | 0,90 | 24 | -75,07 | -2,81 | -0,14 |
| 25 | -75,35 | -2,56 | -4,48 | 26 | -75,57 | -2,30 | -8,24 |
| 27 | -75,73 | -2,02 | -11,18 | 28 | -75,82 | -1,72 | -13,29 |
| 29 | -75,81 | -1,42 | -13,86 | 30 | -75,70 | -1,14 | -12,87 |
| 31 | -75,50 | -0,89 | -10,42 | 32 | -75,24 | -0,67 | -6,76 |
| 33 | -74,85 | 1,11 | -2,25 | 34 | -74,01 | 5,36 | 4,82 |
| 35 | -73,16 | 6,00 | 17,13 | 36 | -72,80 | 2,58 | 28,78 |
| Stab | Ne [N] | Ve [N] | Me [Ncm] | | | | |
| 36 | -72,80 | 2,58 | 33,52 | | | | |

* maßgebende Schnittgrößen (durch γ dividiert)

| | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|------------|----------|---------|-------|--------|
| ΣN | -74,9 | -75,8 | -72,8 | N/cm |
| ΣM | 0,7 | -13,9 | 33,5 | Ncm/cm |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, hwSo = 5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -B3 -

*** Ergebnisse

* Spannungsnachweis Liner

| | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|---------------|----------|---------|--------|-------------------|
| N | -7,491 | -7,581 | -7,280 | N/mm |
| M | 0,680 | -13,865 | 33,516 | Nmm/mm |
| σ | -1,333 | -4,881 | 6,679 | N/mm ² |
| σ_a | -1,660 | 1,774 | -9,409 | N/mm ² |
| γ_{bZ} | 99,999 | 10,148 | 2,695 | |
| γ_D | 15,063 | 5,121 | 2,657 | |
| erf γ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | (M 127-2, Tab. 4) |

Bem.: Bei einer Ausgabe von $\gamma_{bZ} = 99,999$ sind keine Zugspannungen vorhanden.

* Verformungsnachweis

| | | |
|--|------------|---------|
| a) spannungslose örtl. Vorverformung | wv | 2,95 mm |
| b) elastische Verformung (+ nach innen) | | |
| nach Theorie II. Ordnung, im Scheitel | wo | 0,00 mm |
| in der Sohle | wu | 4,77 mm |
| c) Gesamtverformung | w | 6,24 mm |
| auf DN bezogen | δ_v | 2,62 % |
| Anhaltswert für zul δ_v (ATV-M 127-2, 6.5.2): | | 10 % |

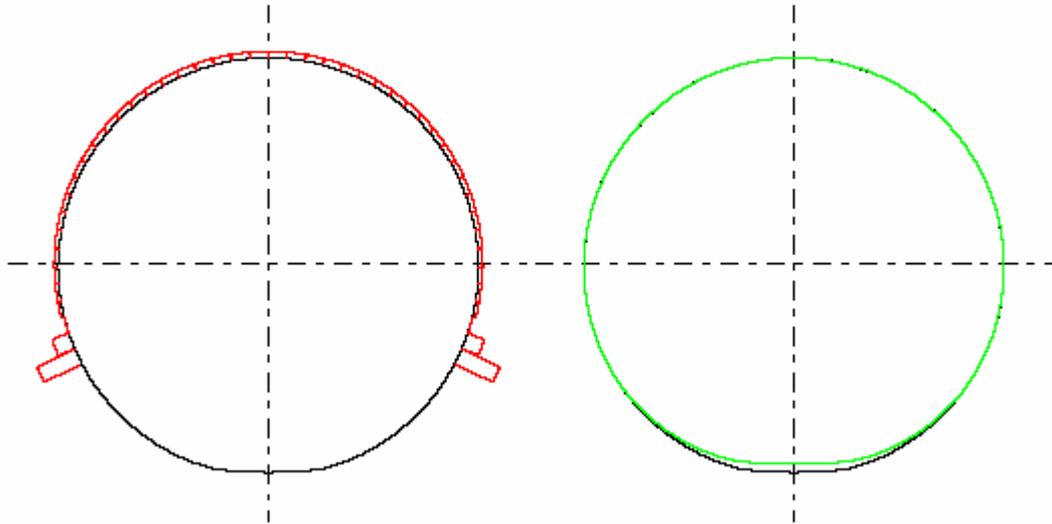
* Stabilitätsnachweis

| | | |
|--|---------------------|--------------------------|
| über Linersohle vorhandener Grundwasserdruck | pa | 50,00 kN/m ² |
| Durchschlagbeiwert für starr gebettete Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt: $2.62 \cdot (rL/sL)^{0.8} =$ | α_D | 39,28 |
| Durchschlaglast, Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt: krit pa = | $\alpha_D \cdot SL$ | 203,42 kN/m ² |
| zum Vergleich: freier Liner krit pas = $3.0 \cdot SL$ | | 15,54 kN/m ² |
| Abminderungsfaktoren, Parameter | rL/sL | 29,50 |
| gemeinsamer Faktor für örtliche Vorverformung, und Spaltbildung (vgl. ATV-M 127-2, 6.5.3.1) | $\kappa_{v,s}$ | 0,597 |
| abgeminderte Durchschlaglast $\kappa_{v,s} \cdot \text{krit pa}$ | | 121,50 kN/m ² |
| vorhandene Sicherheit gegen Durchschlagen | vorh γ | 2,43 |
| erforderliche Sicherheit | erf γ_l | 1,00 |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, örtliche Vorverformung, hwSo = 5 m

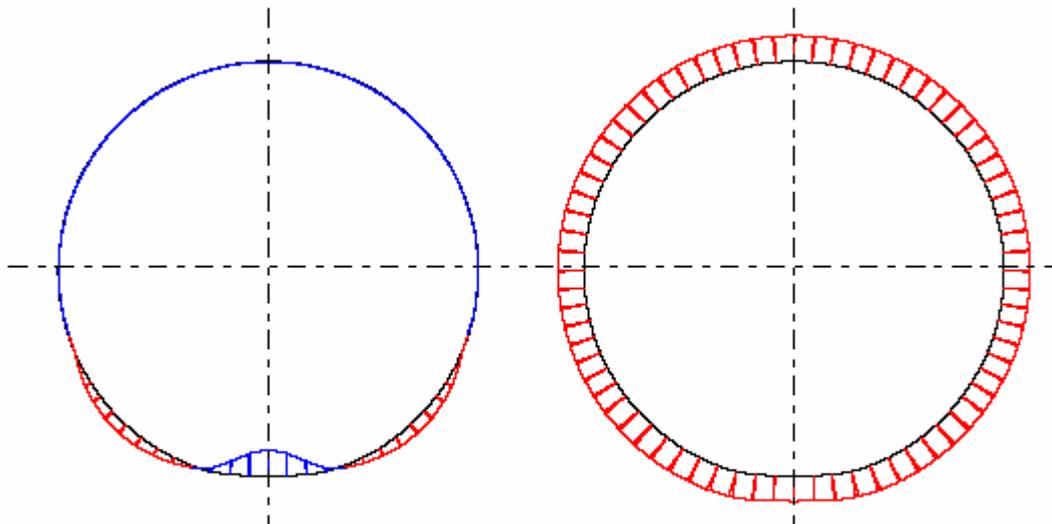
Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -B4 -



oben: Kontaktkräfte, max|K| = 3.0565 N/cm
 unten: M-Linie, max|M| = 33.62 Ncm/cm

Biegelinie, max|w| = .624 cm (nicht überhöht)
 N-Linie, max|N| = 75.82 N/cm



C Längsfalte, $h_{w,So} = 5,0$ m

Statische Berechnung eines Liners nach ATV-M 127-2:2000-01

Program LINERB, Version 7.2

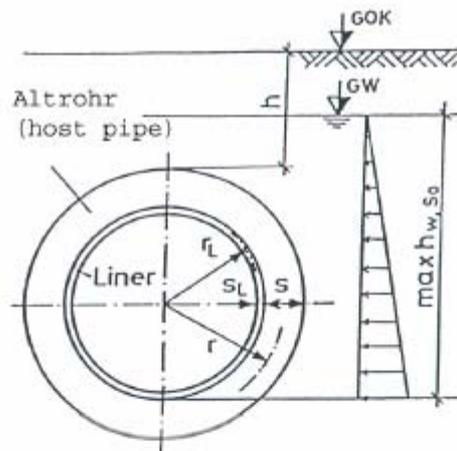
Projekt: DN 300
 Haltung: Zu 1, Längsfalte, $h_{w,So} = 5$ m
 Datum: 17.02.2009

Altrohr, Werkstoff: Beton
 Kreisquerschnitt, Nennweite DN 300

Altrohrzustand I

Linerwerkstoff: Synthefaserlaminat - Wanddicke: $s_L = 5$ mm

Geometrie:



Voraussetzung der statischen Berechnung ist die zutreffende Einschätzung des Altrohrzustandes, die Übereinstimmung der Eingaben mit der Checkliste nach ATV-M 127-2, Anhang A7 sowie die Überprüfung der nach der Aushärtung des Liners erzielten Werkstoffkennwerte und Wanddicken.

Münster, den _____

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, Längsfalte, hwSo = 5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-85218

17.02.2009
 -C1 -

Statische Berechnung von Linern nach Merkblatt ATV-M 127-2 (01.00)

*** Eingaben

* Altrohr - Kreis

Rohrwerkstoff: Beton

| | | | |
|------------------|----|---|-----------|
| Nennweite | DN | = | 300 mm |
| Innendurchmesser | di | = | 300,00 mm |
| Altrohrzustand | AZ | = | I |

* Liner - Kreis

Werkstoff: Synthefaserlaminat

| | | | |
|--------------------------------|-----|---|------------------------|
| Radius (außen) | raL | = | 150,0 mm |
| Wanddicke (ohne Preliner etc.) | sL | = | 5,0 mm |
| Langzeit-E-Modul | EL | = | 1400 N/mm ² |
| Querkontraktionszahl | μ | = | 0,35 |
| Langzeit-Biegezugfestigkeit | σbz | = | 18,0 N/mm ² |
| Langzeit-Druckfestigkeit | σD | = | 25,0 N/mm ² |
| erforderliche Sicherheit | γ | = | 1,0 |

* Einbaubedingungen

Örtliche Vorverformung des Altrohres

| | | | |
|---------------------------------------|-----------|---|----------|
| bzw. des Liners | ww/rL*100 | = | 0,00 % |
| örtliche Verformung im Rohrscheitel | hv | = | 20,00 mm |
| Öffnungswinkel | 2φv | = | 10,0 ° |
| Spaltweite zwischen Altrohr und Liner | ws/rL*100 | = | 0,50 % |

* Einwirkungen

| | | | |
|------------------------|-------|---|-------------------------|
| Grundwasser über Sohle | hw,So | = | 5,00 m |
| Wichte der Flüssigkeit | γW | = | 10,00 kN/m ³ |
| Wichte des Liners | γL | = | 0,00 kN/m ³ |

* berechnete Eingabewerte

| | | | |
|---|-------|---|----------------------------|
| Liner, mittlerer Radius | rL | = | 147,5 mm |
| Rohrsteifigkeit des Liners (mit rL ermittelt) | SRL | = | 4,54E-03 N/mm ² |
| r/s-Verhältnis | rL/sL | = | 29,5 |
| Tiefe der Vorverformung | ww | = | 0,0 mm |
| Spaltweite (Ringspalt) | ws | = | 0,7 mm |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, Längsfalte, hwSo = 5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -C2 -

*** Zwischenergebnisse

* Iterationen

(γ -fache Lasten mit $\gamma = 1,00$)
 maximale Verschiebungsgröße [cm]:

| | | | | | |
|----|----|--------|----|----|--------|
| it | 15 | 0,7860 | it | 19 | 1,1668 |
| it | 16 | 0,9285 | it | 20 | 1,1697 |
| it | 17 | 1,1181 | it | 21 | 1,1708 |
| it | 18 | 1,3183 | it | 22 | 1,1709 |

Schnittkräfte (rechte Profilhälfte) nach Theorie II. Ordnung

(Alle Schnittkräfte sind auf 1 cm Rohrlänge bezogen.)

Scheitel = Stab 1a, Kämpfer = Stab 19a, Sohle = Stab 36e

| Stab | Na [N] | Va [N] | Ma [Ncm] | Stab | Na [N] | Va [N] | Ma [Ncm] |
|------|--------|--------|----------|------|--------|--------|----------|
| 1 | -31,71 | -59,68 | 157,81 | 2 | -60,04 | -40,77 | 58,00 |
| 3 | -74,31 | 1,37 | 10,63 | 4 | -74,72 | 1,67 | 3,89 |
| 5 | -75,13 | 2,00 | -2,78 | 6 | -75,50 | 2,35 | -9,13 |
| 7 | -75,83 | 2,71 | -14,95 | 8 | -76,10 | 3,09 | -20,04 |
| 9 | -76,31 | 3,48 | -24,22 | 10 | -76,45 | 3,88 | -27,33 |
| 11 | -76,51 | 4,29 | -29,27 | 12 | -76,49 | 4,69 | -29,96 |
| 13 | -76,39 | 5,08 | -29,37 | 14 | -76,22 | 5,46 | -27,54 |
| 15 | -75,97 | 5,83 | -24,53 | 16 | -75,66 | 6,17 | -20,45 |
| 17 | -75,30 | 6,49 | -15,44 | 18 | -74,89 | 6,78 | -9,69 |
| 19 | -74,53 | 4,55 | -3,41 | 20 | -74,39 | -1,25 | 1,14 |
| 21 | -74,40 | -1,13 | 0,87 | 22 | -74,41 | -0,90 | 0,68 |
| 23 | -74,42 | -0,82 | 0,66 | 24 | -74,42 | -0,82 | 0,68 |
| 25 | -74,42 | -0,80 | 0,68 | 26 | -74,42 | -0,77 | 0,68 |
| 27 | -74,42 | -0,74 | 0,68 | 28 | -74,42 | -0,73 | 0,68 |
| 29 | -74,35 | -0,69 | 0,68 | 30 | -74,36 | -0,64 | 0,68 |
| 31 | -74,36 | -0,59 | 0,68 | 32 | -74,36 | -0,54 | 0,68 |
| 33 | -74,36 | -0,49 | 0,68 | 34 | -74,36 | -0,44 | 0,68 |
| 35 | -74,31 | -0,39 | 0,68 | 36 | -74,31 | -0,33 | 0,67 |
| 37 | -74,31 | -0,27 | 0,67 | 38 | -74,31 | -0,21 | 0,67 |
| 39 | -74,31 | -0,15 | 0,67 | 40 | -74,31 | -0,09 | 0,67 |
| 41 | -74,31 | -0,03 | 0,67 | | | | |
| Stab | Ne [N] | Ve [N] | Me [Ncm] | | | | |
| 41 | -74,31 | -0,03 | 0,67 | | | | |

* maßgebende Schnittgrößen (durch γ dividiert)

| | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|------------|----------|---------|-------|--------|
| ΣN | -31,7 | -31,7 | -74,3 | N/cm |
| ΣM | 157,8 | 157,8 | 0,7 | Ncm/cm |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, Längsfalte, hwSo = 5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -C3 -

*** Ergebnisse

* Spannungsnachweis Liner

| | Scheitel | Kämpfer | Sohle | |
|--------------|--------------|---------|--------|-------------------|
| N | -3,171 | -3,171 | -7,431 | N/mm |
| M | 157,814 | 157,814 | 0,675 | Nmm/mm |
| σ | 37,669 | 37,669 | -1,322 | N/mm ² |
| σ_a | -38,081 | -38,081 | -1,646 | N/mm ² |
| $\gamma_b Z$ | 0,478 | 0,478 | 99,999 | |
| γ_D | 0,656 | 0,656 | 15,185 | |
| erf γ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | (M 127-2, Tab. 4) |

Bem.: Bei einer Ausgabe von $\gamma_b Z = 99,999$ sind keine Zugspannungen vorhanden.

* Verformungsnachweis

| | | |
|--|----------------|----------|
| a) spannungslose örtl. Vorverformung | wv | 0,00 mm |
| b) elastische Verformung (+ nach innen) | | |
| nach Theorie II. Ordnung, im Scheitel | w _o | 11,71 mm |
| in der Sohle | w _u | 1,48 mm |
| c) Gesamtverformung | w | 13,18 mm |
| auf DN bezogen | δ_v | 4,47 % |
| Anhaltswert für zul δ_v (ATV-M 127-2, 6.5.2): | | 10 % |

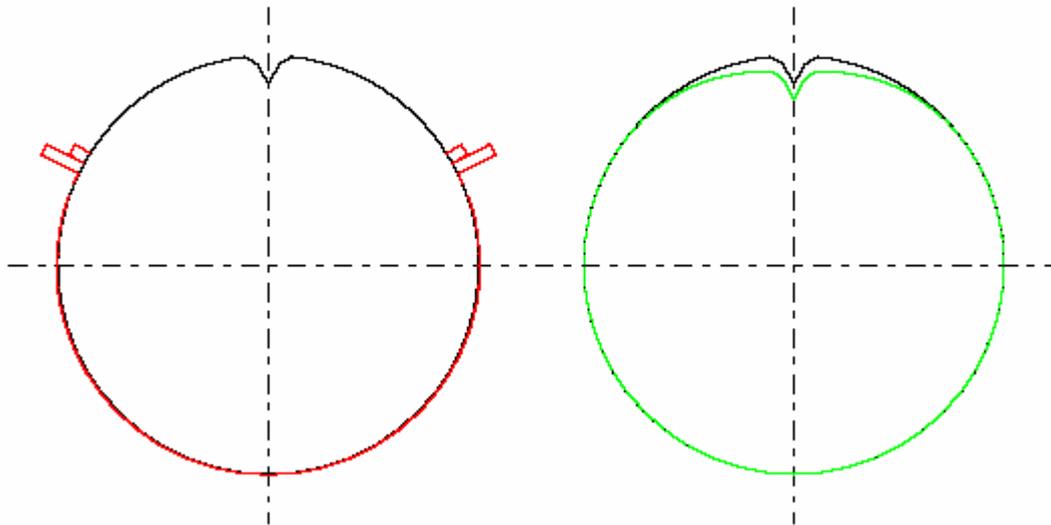
* Stabilitätsnachweis

| | | |
|--|---------------------|--------------------------|
| (mit der Standard-Vorverformung wv der Sohle) | | |
| über Linersohle vorhandener Grundwasserdruck | pa | 50,00 kN/m ² |
| Durchschlagbeiwert für starr gebettete Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt: $2.62 \cdot (rL/sL)^{0.8} =$ | α_D | 39,28 |
| Durchschlaglast, Liner ohne Vorverformung und ohne Spalt: krit pa = | $\alpha_D \cdot SL$ | 203,42 kN/m ² |
| zum Vergleich: freier Liner krit pas = $3.0 \cdot SL$ | | 15,54 kN/m ² |
| Abminderungsfaktoren, Parameter | rL/sL | 29,50 |
| Faktor für örtliche Vorverformung (Diagramm D1) | κ_v | 1,000 |
| Faktor für Ovalisierung (Diagramm D2) | $\kappa_{GR,v}$ | 1,000 |
| Faktor für Spaltbildung (Diagramm D3) | κ_s | 0,742 |
| abgeminderte Durchschlaglast $\kappa_v \cdot \kappa_{GR,v} \cdot \kappa_s \cdot \text{krit pa}$ | | 151,03 kN/m ² |
| vorhandene Sicherheit gegen Durchschlagen | vorh γ | 3,02 |
| erforderliche Sicherheit | erf γ_l | 1,00 |

Fachhochschule Münster
 FB Bauingenieurwesen, Postfach 3020, 48016 Münster
 Programm LINERB 7.2, Autor: Prof. Dr.-Ing. B. Falter
 Standsicherheit von Linern nach ATV-M 127-2 (01.2000)
 Projekt: DN 300
 Position: Zu 1, Längsfalte, hwSo = 5 m

Liz. Nr. FH01LB
 Tel. 0251/83-65218

17.02.2009
 -C4 -



oben: Kontaktkräfte, $\max|K| = 8.048 \text{ N/cm}$
 unten: M-Linie, $\max|M| = 157.81 \text{ Ncm/cm}$

Biegelinie, $\max|w| = 1.1709 \text{ cm}$ (nicht überhöht)
 N-Linie, $\max|N| = 76.51 \text{ N/cm}$

