

neutral
unabhängig
gemeinnützig



IKT –
Institut für Unterirdische Infrastruktur

Teilbericht

„Laborversuche am Prototyp des Flexofit - Versuchsprogramm und Ergebnisse -“

zum
Forschungsvorhaben „Dauerhaft flexibler Reparaturstutzen für
Einläufe der Grundstücksentwässerung –
Kurzbezeichnung: Flexofit“

Auftraggeber:

FITR gGmbH

Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau
Weimar gGmbH

Georg-Haar-Straße 5
99427 Weimar

Bearbeitung:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH

Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Gelsenkirchen, Oktober 2008

AUFTRAGGEBER

FITR Weimar gGmbH
Georg-Haar-Straße 5
99427 Weimar

BEARBEITUNG

IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Harting

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERSUCHSREIHE I – EINBAUVERSUCHE UND BELASTUNGSTESTS	4
1.1	Versuchsaufbau, Sanierungsablauf und -ergebnisse	4
1.2	Simulation von Verkehrslasten und anschließende Dichtheitsprüfung	11
1.3	Simulation betrieblicher Belastungen und anschließende Dichtheitsprüfung	15
2	VERSUCHSREIHE II – DICHTWIRKUNG DES GUMMI-PROFILS BEI BESCHÄDIGTEM PYROLUS-PROFIL.....	17
3	VERSUCHSREIHE III – KENNWERTE VON MATERIALPROBEN.....	18
4	SCHLUSSFOLGERUNGEN	24
	LITERATURVERZEICHNIS.....	26

Laborversuche am Prototyp des Flexofit

– Versuchsprogramm und Ergebnisse –

Auf Basis von Voruntersuchungen [1] wurde ein Prototyp des Flexofit entwickelt, eine Kombination aus einem herkömmlichen Hutprofil zur Stützsanierung und einem zusätzlichen EPDM-Hutprofil. Dieses wurde im Rahmen von Laborversuchen im IKT auf seine Einbaubarkeit und -qualität untersucht. Für die Versuche wurde als herkömmliches Hutprofil das Pyrolus-Hutprofil der PKT GmbH, Paderborn eingesetzt. Dieses besteht aus einem Polyestergerewebe, ein „BRAWOLINER“ mit angenähter Hutkrempe des gleichen Materials, und Epoxidharz „Konudur 160 BRAWO“. Für das EPDM-Hutprofil, nachfolgend Gummi-Hutprofil, wurden folgende Parameter festgelegt:

- Materialstärke der Hutkrempe: 1,4 mm,
- Materialstärke des Hutzyinders: 0,8 mm,
- Breite der Hutkrempe: 50 mm,
- Länge des Hutzyinders: 400 mm,
- Beharzung der Profil-Krempe von außen und innen.

Im Rahmen der Laborversuche wurden folgende Eigenschaften des Flexofit untersucht: In einer ersten Versuchsreihe wurden die Einbaubarkeit, Funktionsfähigkeit, Dichtheit sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber Hochdruckreinigungen und äußeren Belastungen aus Verkehr überprüft. Die zweite Versuchsreihe diente dazu, die Dichtwirkung des Gummi-Profiles bei beschädigtem Pyrolus-Profil nachzuweisen. In einer dritten Versuchsreihe wurden Kennwerte von Materialproben bestimmt.

1 Versuchsreihe I – Einbauversuche und Belastungstests

1.1 Versuchsaufbau, Sanierungsablauf und -ergebnisse

Für die Einbauversuche und Belastungstests wurden sechs schadhafte Stützen nachgebildet, indem zwei Betonrohre DN 300 mit je drei Bohrungen ($\varnothing = 160$ mm) versehen wurden und vor den Bohrungen Steinzeugrohre DN 150 in einem Abstand von ca. 1 cm positioniert wurden. Somit bestand keine sachgerechte, dichte Verbindung zwischen den Beton- und Steinzeugrohren. Drei der Stützen wurden rechtwinklig zum Hauptrohr angeordnet (s. Abb. 1, Stützen Nr. 4-6), drei Stützen in einem Winkel von 45° (Stützen Nr. 1-3).



Nr. 6
Nr. 5
Nr. 4

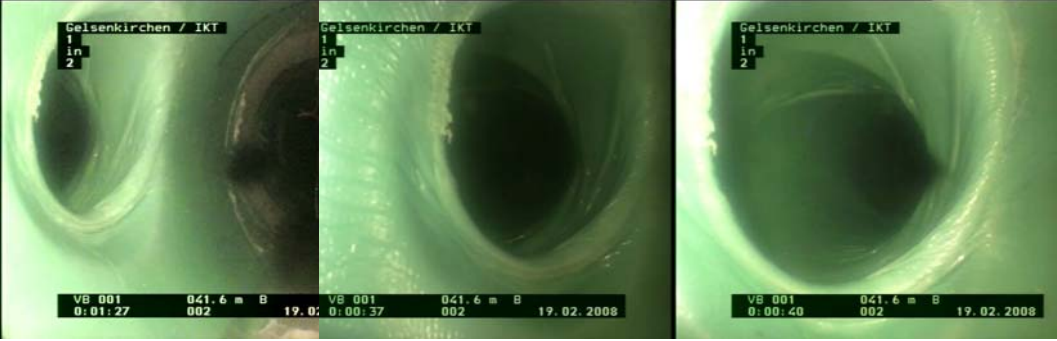
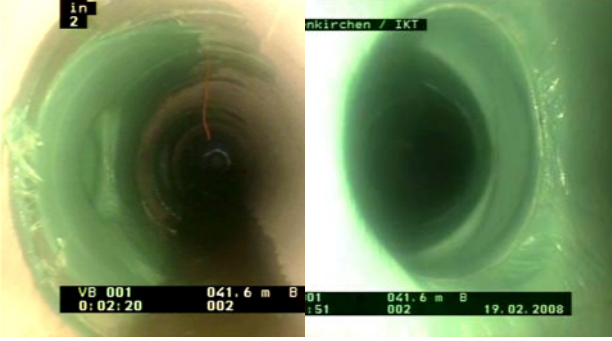
Nr. 3
Nr. 2
Nr. 1

Abb. 1: Versuchsstand (li) und Detail der Anschlüsse (re)

Die sechs Stützen wurden nacheinander mit dem Flexofit saniert (Ausführung durch die PKT GmbH, Paderborn). Das Pyrolus-Profil wurde jeweils zusammen mit dem Gummi-Profil in den Versetzpacker eingezogen und in einem Schritt in den Hausanschluss invertiert. Bei zwei Stützen (Nr. 5-6) wurde während der Sanierung ein Grundwasserzufluss simuliert, indem dem Anschluss Wasser zugeleitet wurde.

Sämtliche Stützen konnten mittels der Kombination aus Pyrolus-Hutprofil und Gummi-Hutprofil saniert werden. Besonderheiten beim Sanierungsvorgang und optische Auffälligkeiten der eingebauten Flexofit sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

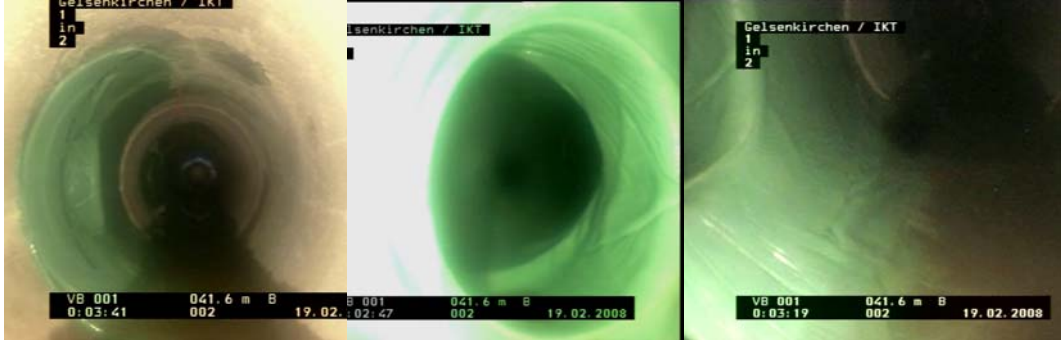
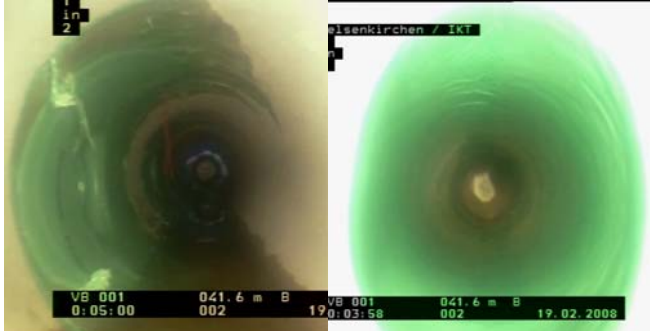
Tabelle 1: Sanierungsergebnis und Auffälligkeiten beim Sanierungsvorgang

Besonderheiten beim Sanierungsvorgang und Sanierungsergebnis (optisch)	Bildbeispiele der TV-Inspektion
<p>Stützen Nr. 1 mit 45°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> Sanierungsvorgang*: Beim ersten Versuch ließ sich das Hutprofil weder vollständig in den Packer einziehen, noch in den Anschluss invertieren. Auch beim zweiten Versuch nach erneutem Einzug in den Packers ließ es sich nur mit händischer Unterstützung invertieren. Sanierungsergebnis: Leichte Faltenbildung im Bereich des Hutzyllinders (Abwinklungsbereich der „Druckseite“) 	
<p>Stützen Nr. 2 mit 45°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> Sanierungsvorgang*: Das Hutprofil ließ sich erst beim zweiten Versuch ausreichend tief in den Packer einziehen. Beim Inversionsvorgang ließ sich das Hutprofil nur sehr langsam in den Anschluss invertieren. Der Packer wurde nach Anpressen der Hutkrempe im Rohr nachjustiert**. Sanierungsergebnis: Faltenbildung im Sohlbereich der Hutkrempe (vermutlich durch Nachjustierung des Packers); Kantenbildung am Hutprofil durch den Übergang vom Beton- zum Steinzeugrohr 	

* Die Schwierigkeiten beim Einziehen des Hutprofils in den Packer entstanden vermutlich aufgrund eines technischen Defekts der Vakuumpumpe

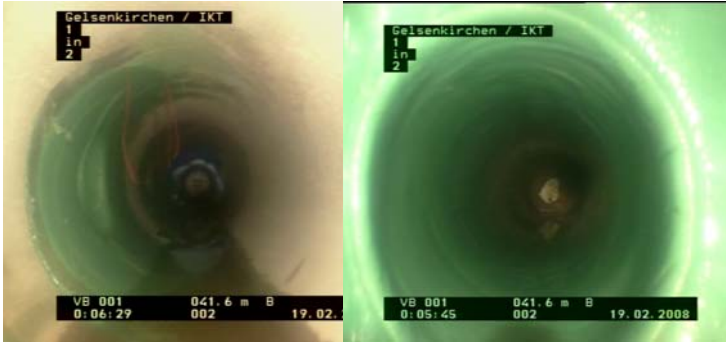
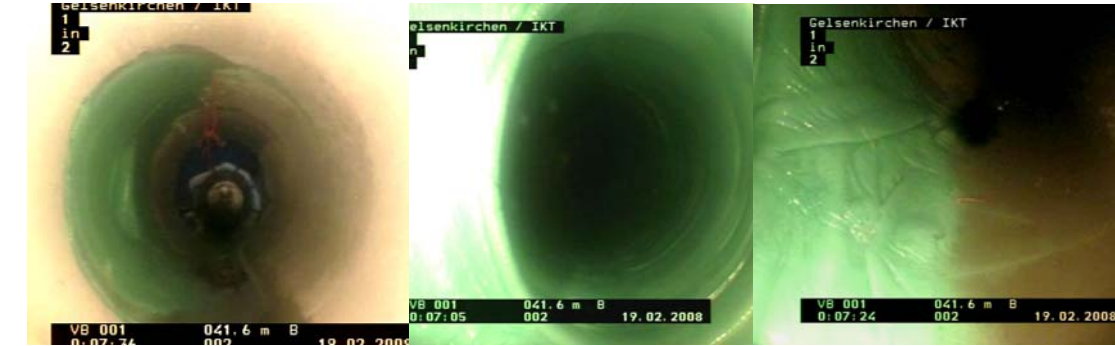
** Der Packer wurde um wenige Grad gedreht, um Hutzyllinder in den Anschlusskanal auszurichten

Fortsetzung Tabelle 1: Sanierungsergebnis und Auffälligkeiten beim Sanierungsvorgang

Besonderheiten beim Sanierungsvorgang und Sanierungsergebnis (optisch)	Bildbeispiele der TV-Inspektion
<p>Stutzen Nr. 3 mit 45°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> Sanierungsvorgang: Der Packer wurde nach Anpressen der Hutkrempe im Rohr nachjustiert**. Sanierungsergebnis: Faltenbildung im Sohlbereich der Hutkrempe (vermutlich durch Nachjustierung des Packers); Kantenbildung am Hutprofil durch den Übergang vom Beton- zum Steinzeugrohr 	
<p>Stutzen Nr. 4 mit 90°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> Sanierungsvorgang: Keine Besonderheiten Sanierungsergebnis: Minimale Faltenbildung im Anschlusskanal (Hutzylinder) 	

** Der Packer wurde um wenige Grad gedreht, um Hutzylinder in den Anschlusskanal auszurichten

Fortsetzung Tabelle 1: Sanierungsergebnis und Auffälligkeiten beim Sanierungsvorgang

Besonderheiten beim Sanierungsvorgang und Sanierungsergebnis (optisch)	Bildbeispiele der TV-Inspektion
<p>Stutzen Nr. 5 mit 90°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simulation von <u>zufließendem Grundwasser</u> • Sanierungsvorgang: Keine Besonderheiten • Sanierungsergebnis: Minimale Faltenbildung im Anschlusskanal (Hutzyliner) 	
<p>Stutzen Nr. 6 mit 90°-Anschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simulation von <u>zufließendem Grundwasser</u> • Sanierungsvorgang: Der Packer wurde nach Anpressen der Hutkrempe im Rohr nachjustiert**. • Sanierungsergebnis: Faltenbildung im Sohlbereich der Hutkrempe (vermutlich durch Nachjustierung des Packers); Minimale Faltenbildung im Anschlusskanal (Hutzyliner) 	

** Der Packer wurde um wenige Grad gedreht, um Hutzyliner in den Anschlusskanal auszurichten

Die **Dichtheitsprüfungen** an den sanierten Stutzen erfolgten mit Wasserinnendruck in den Druckstufen 0,05 / 0,1 / 0,2 / 0,3 / 0,4 und 0,5 bar. Die höchste Druckstufe von 0,5 bar wurden über einen Zeitraum von 30 min aufrecht gehalten, die darunter liegenden Stufen über jeweils 15 min.

Bei der Prüfung trat an fünf von sechs Stutzen bereits bei der Befüllung Wasser aus. Bei Stutzen Nr. 2 trat Wasser ab einem Wasserinnendruck von 0,1 bar aus. Tabelle 2 gibt einen Überblick zur den Bereichen, in denen Wasseraustritte beobachtet wurden. Zeigten sich Wasseraustritte am Übergang vom Betonrohr zum Hutprofil (vgl. Abbildung 1), konnte auf Hinterläufigkeiten und/oder Undichtigkeiten der Profil-Krempe geschlossen werden. Traten am Übergang des Hutprofils auf das Steinzeugrohr Nässungen auf, deutete dies auf Hinterläufigkeiten und/oder Undichtigkeiten des in den Anschlusskanal einragenden Hutzylinders hin. In den Fällen, bei denen die Herkunft des Wassers nicht eindeutig zugeordnet werden konnte, ist dies in der Tabelle vermerkt.

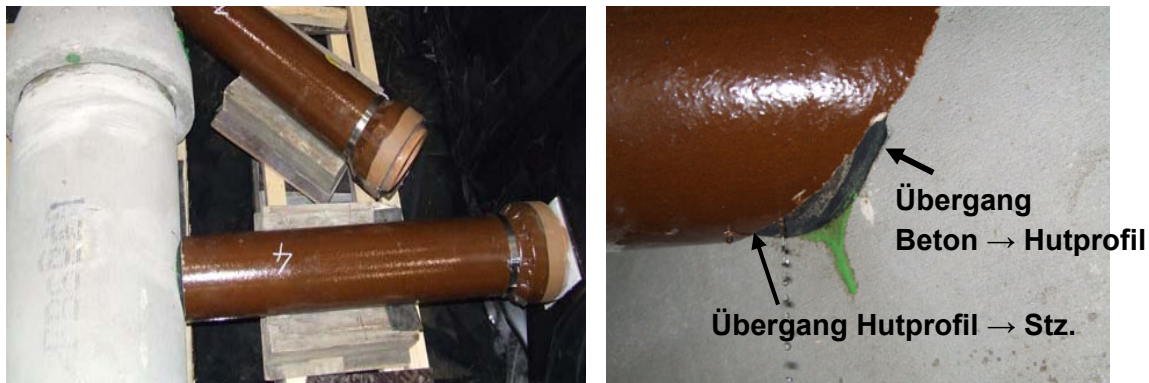


Abbildung 1: Anschlussituation (li) und Detail Übergänge (re)

Tabelle 2: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung an den Flexofit-Profile

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten u/o Hinterläufigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzylinders
1	bei Befüllung	---	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
2	ab 0,1 bar	---	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
3*	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Herkunft des Wassers unklar
4	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
5	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil
6	bei Befüllung	Herkunft des Wassers unklar	Übergang zw. Steinzeug und Hutprofil

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem EPDM-Hutprofil

Als Ursache für die Undichtigkeiten wurden Hinterläufigkeiten der Hutprofile im Bereich der in die Steinzeugrohre einragenden Profil-Zylinder vermutet. Da die Herkunft des Wassers und somit die Stellen der Undichtigkeiten jedoch nicht eindeutig identifiziert werden konnten, wurden die Steinzeugrohre entfernt und die Dichtheitsprüfung an den freigelegten Hutprofilen wiederholt (s. Abbildung 2).



Abbildung 2: Freigelegte Hutprofile während der Dichtheitsprüfung (Verschluss durch PVC-Kappen)

Einen Überblick zu den Ergebnissen der erneuten Dichtheitsprüfung gibt Tabelle 3. Vier der sechs Stützen zeigten keine Wasseraustritte. Somit kann angenommen werden, dass die Undichtigkeiten bei der vorherigen Dichtheitsprüfung durch Hinterläufigkeiten zwischen den in die Anschlussleitung einragenden Hutzyindern und den Steinzeugrohren verursacht worden waren.

Stützen Nr. 3 zeigte Undichtigkeiten bereits ab einem Wasserinnendruck von 0,05 bar. Bei diesem Stützen war während des Sanierungsvorgangs das Gummi-Profil in der Klebenahnt gerissen (s. Abbildung 3). Während der Dichtheitsprüfung trat Wasser aus diesem Bereich aus. Ob die Nässungen ebenfalls durch Hinterläufigkeiten der Klempe verursacht wurden, war nicht eindeutig sichtbar.

Ein weiterer Stützen (Nr. 2) zeigte ab einer Druckstufe von 0,4 bar minimale Nässungen auf der Außenseite des Pyrolus-Materials (des BRAWOLINERS) in einem Bereich, der nicht mit dem Gummi kombiniert war. Hier trat das Wasser aus Poren des Pyrolus-Materials aus (s. Abbildung 3).

Tabelle 3: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung an den freiliegenden Flexofit-Profilen

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzylinders
1	---	---	---
2	ab 0,4 bar	---	Nässung von Poren im Pyrolus-Material (s. Abbildung 3)
3*	ab 0,05 bar	Undichtigkeit im Bereich des gerissenen Gummi-Hutprofils (s. Abbildung 3) und ggf. im Bereich der Krempe	
4	---	---	---
5	---	---	---
6	---	---	---

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem Gummi-Hutprofil



Abbildung 3: Gerissenes Gummi-Hutprofil am Stutzen Nr.3 (li) und Poren im Pyrolus-Material beim Stutzen Nr.2 (re)

1.2 Simulation von Verkehrslasten und anschließende Dichtheitsprüfung

Um die Widerstandsfähigkeit des Flexofit gegenüber äußeren Belastungen aus Verkehrslasten bei gering überdeckten Kanäle zu testen, wurden mit Hilfe von Lasteinleitungskonstruktionen und einem Druckzylinder Lasten auf die Profile gebracht.

Bereits die Vorversuche [1] hatten gezeigt, dass statische Vertikallasten bei fester Auflagerung der Anschlussleitungen an den Endpunkten (s. Abbildung 4) keine Schäden an den Profilen erzeugten. Erst durch extreme Abwinklungen der Anschlussleitungen (s. Abbildung 4) wurden Schäden an den Pyrolus-Profilen herbeigeführt. Die Dichtheit der Anschlüsse war durch die zusätzlichen Gummi-Profile nach wie vor gegeben.



Abbildung 4: Versuchsaufbau der Vorversuche [1]: Vertikalbelastung bei Auflagerung des Anschlusskanals (li) und Abwinklung der Anschlusskanäle bei entfernter Auflagerung (re)

Belastungsparameter:

Für die Hauptversuche wurden die Belastungen der Stützen im Vergleich zu den Vorversuchen deutlich erhöht. Über einen Weg-gesteuerten Zylinder wurden durch zyklische Be- und Entlastungen Abwinklungen der Hutprofile erzeugt. Mit insgesamt 186.000 Lastwechseln je Stützen sollte eine 30-jährige Belastung durch Verkehrslasten bei geringer Überdeckung der Stützen simuliert werden.

Die Belastungsparameter und Anzahl der Lastwechsel wurden auf Basis von Simulationsrechnungen [2] für die „Platzstraße“ in Rietberg festgelegt. Vereinfachte Simulationsberechnungen der Convia Ingenieurgesellschaft GmbH ergaben für LKW-Radlasten (SWL 60) eine Vertikalbewegung des Bodens direkt über dem Rohrscheitel von 1,06 mm bis 1,16 mm. Bei den Berechnungen wurden punktuell unter einer Radlast eintretenden Vertikalbewegungen ermittelt. Belastungsszenarien mit Abwinklungen der Anschlussleitungen wurden nicht dargestellt. Daher dienten die ermittelten Werte von 1,06 mm bis 1,16 mm lediglich als Anhaltswerte für die Festlegung von Parametern für die Belastungsversuche.

Für die Belastungsversuche wurde angestrebt, im Abstand von 10 cm vom Beton-Hauptkanal eine Vertikalbewegung der Anschlussleitung im Bereich vom 1,16 mm zu erzeugen. Die Vertikalbewegung wurde durch Abwinklung der Anschlussleitung bzw. des Flexofit-Zylinders nach unten erzielt.

Voraussetzung für derartige Bewegungen in der Praxis ist, dass der Anschlusskanal, in den das Hutprofil einmündet, diese Bewegungen zulässt, z.B. in der ersten Muffe. In einem Abstand von beispielsweise 30 cm vom Hauptkanal (bezogen auf die Längsachse des An-

schlusskanals) müssten Absenkungen von mehreren Millimetern eintreten. Abhängig von der genauen Position des sich einstellenden Drehpunkts des Hutprofils bzw. des Verbunds aus Altrohr und Hutprofil, müssten vertikale Bewegungen im Bereich von näherungsweise 3-6 mm möglich sein.

Versuchsaufbau:

Für den Versuchsaufbau wurden je drei Hutprofile im Abstand von ca. 25 cm vom Beton-Hauptrohr gefasst, über eine Konstruktion mit dem Druckzylinder verbunden und in 186.000 Lastwechseln vertikal nach unten bewegt und in die Nulllage zurückgeführt. Die Lastwechsel wurden mit einer Frequenz von 1 Hertz aufgebracht.

Über Wegaufnehmer, die in einem Abstand von ca. 10 cm vom Betonrohr auf den Rohrscheiteln der Hutprofile installiert worden waren, wurde die tatsächlichen Bewegung der Profile gegenüber dem Betonrohr-Hauptrohr aufgenommen. Da abhängig von der Geometrie, der Systemsteifigkeit und des Anschlusswinkels des Hutprofils unterschiedliche Drehpunkte entstehen, variierten die Bewegungen der einzelnen Stützen im Bereich von einigen Zehntel-Millimetern. So ergaben sich im Abstand von 10 cm vom Betonrohr mittlere Wege der Stützen von 1,18 mm bis 2,10 mm (vgl. Tabelle 4).



Abbildung 5: Hutprofile mit Lasteinleitungskonstruktion (hier 45°-Stützen)

Tabelle 4: Position der Wegaufnehmer und Mittelwerte aufgebrachter Vertikalbewegungen

Stutzen	Position Weg- aufnehmer - Abstand vom Hauptrohr [mm]	Mittlere Vertikalbewe- gung des Hutprofils am Wegaufnehmer [mm]	Mittlere Vertikalbewe- gung des Hutprofils ¹ in 10 cm Abstand vom Hauptrohr [mm]
Nr. 1 – 45°	96	1,39	1,47
Nr. 2 – 45°	95	1,04	1,18
Nr. 3 – 45°	93	1,20	1,41
Nr. 4 – 90°	111	2,36	2,10
Nr. 5 – 90°	115	1,85 ²	1,46 ²
Nr. 6 – 90°	112	1,88	1,58

¹ rechnerischer Näherungswert unter Vernachlässigung möglicher Biegungen innerhalb des Hutzylinders

² Aufgrund von Messungenauigkeiten konnten nur die ersten 28.140 Lastwechsel einbezogen werden

Bei den im 90°-Winkel angeschlossenen Profilen zeigte die Innenansicht des Beton-Hauptrohres Bewegungen in der Hutkrempe. Jede Abwinklung des Profil-Zylinders erzeugte eine entsprechende Wölbung bzw. Dehnung in Teilbereichen der Krempe (vgl. Abbildung 6). Bei den im 45°-Winkel angeschlossenen Stutzen waren dagegen keine Bewegungen sichtbar. Aufgrund der unterschiedlichen Anschlusswinkel erfahren die 90°-Stutzen eine höhere Beanspruchung im Krempenbereich.

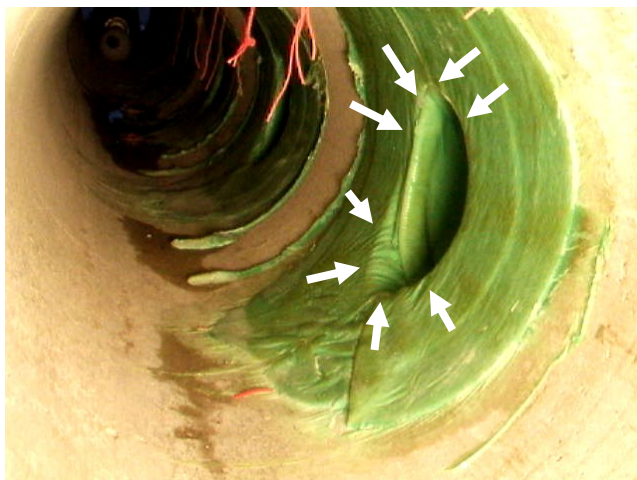


Abbildung 6: Krempenbereiche der 90°-Hutprofile mit deutlich sichtbaren Bewegungen des Materials

Dichtheitsprüfung nach Belastung:

Die Ergebnisse der Dichtheitsprüfungen an den 45°-Stutzen waren weitestgehend mit den Ergebnissen vor Belastung der Stutzen vergleichbar. Bei den Stutzen Nr. 1 und 2 wiederholten sich die Ergebnisse der ersten Prüfung: Beim Stutzen Nr. 1 trat auf keiner Druckstufe Wasser aus, beim Stutzen Nr. 2 blieb der Übergang vom Hutprofil auf das Betonrohr vollständig dicht und es zeigten sich wiederum Nässungen in Poren des Pyrolus-Materials. Am Stutzen mit dem angerissenen Gummiprofil (Nr. 3), der bereits bei der Prüfung vor Belastung ab einer Druckstufe von 0,05 bar undicht war, trat bereits bei der Befüllung der Rohre Wasser aus.

Von den 90°-Stutzen, die während der 186.000 Abwinklungen deutlich sichtbar im Krepfenbereich beansprucht wurden, waren zwei der Stutzen auch nach der Belastung noch dicht. Beim dritten Stutzen zeigte sich bereits bei der drucklosen Wasserbefüllung eine Undichtigkeit im Übergangsbereich zwischen Betonrohr und Hutprofil, d.h. es kann auf Hinterläufigkeiten der Profilkrempe geschlossen werden.

Tabelle 5: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach Belastung durch Abwinklung der Hutprofile

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzylinders
1	---	---	---
2	ab 0,4 bar	---	<i>Nässung von Poren im Pyrolus-Material (s. Abbildung 3)</i>
3*	bei Befüllung	<i>Undichtigkeit im Bereich des gerissenen Gummi-Hutprofils (s. Abbildung 3) und ggf. im Bereich der Krempe</i>	
4	---	---	---
5	bei Befüllung	<i>Übergang zw. Betonrohr und Hutprofil</i>	---
6	---	---	---

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem Gummi-Hutprofil

1.3 Simulation betrieblicher Belastungen und anschließende Dichtheitsprüfung

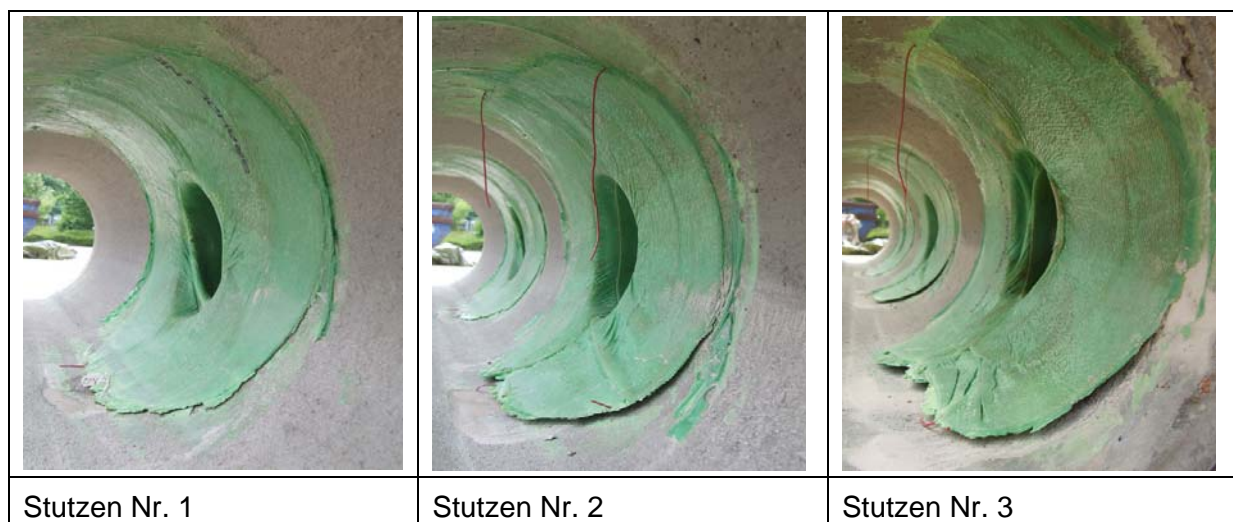
In Anlehnung an das Hamburger Spülmodell wurden die Hutprofile mit Hochdruckspülungen belastet. Die Spülungen wurden im Beton-Hauptkanal ausgeführt. Mit 30 Spüldurchgängen und einem Spüldruck von 120 bar wurden die Belastungsparameter gegenüber den Vorversuchen erhöht (Vorversuche: 15 Spüldurchgänge und 80 bar). Weitere Parameter können Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Parameter der HD-Spülungen

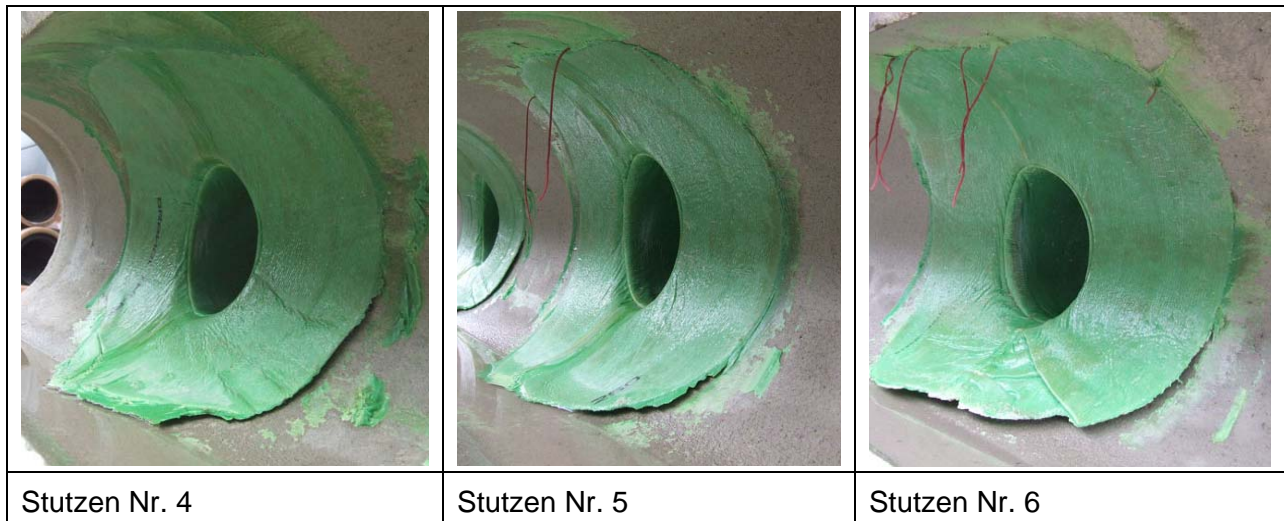
Spülparameter	Zahlenwert
Düsendruck	120 bar
Düsenwinkel	30°
Anzahl Düseneinsätze	8
Durchmesser d. Einsätze	2,4 mm
Spülwassermenge	ca. 320 l/min
Anzahl Spülvorgänge	30
Vorlaufgeschwindigkeit	1,0 m/s
Rückzuggeschwindigkeit	0,1 m/s
Kalksteinsplitt 2/5 mm	5 l/Spüldurchgang

Eine Begutachtung der Hutprofile nach der HD-Spülung zeigte Schäden an den Hutkrepfen. Wie in Tabelle 7 dargestellt, waren die Krepfen im Sohlbereich durch die Spülung vom Betonrohr abgelöst worden.

Tabelle 7: Durch die Hochdruckspülung gelöste Hutkrepfen (Spülseite)



Fortsetzung Tabelle 7: Durch die Hochdruckspülung gelöste Hutkrempe (Spülseite)



Die Dichtheitsprüfung zeigte an allen sechs Stutzen Undichtigkeiten. Gegenüber der Prüfung vor HD-Belastungen waren zusätzlich die 90°-Stutzen Nr. 4 und 6 bereits bei Befüllung der Leitung undicht und auch an den zwei 45°-Stutzen Nr. 1 und 2 trat ab einem Wasserinnendruck von 0,2 bar Wasser aus.

Der Unterschied zwischen den 90°-Stutzen (undicht bei Befüllung) und den 45°-Stutzen (undicht ab 0,2 bar, mit Ausnahme des Stutzen Nr. 3 mit angerissenem Gummiprofil) könnte darin begründet liegen, dass die 90°-Stutzen während der Abwinklungsversuche stärkere Belastungen im Krempebereich erfahren haben.

Tabelle 8: Ergebnisse der Dichtheitsprüfung nach zyklischer Belastung und Hochdruckspülung

Stutzen Nr.	Wasseraustritt	Lokalisation von Undichtigkeiten	
		Bereich der Hutkrempe	Bereich des Hutzylinders
1	ab 0,2 bar	Übergang zw. Betonrohr und Hutprofil	---
2	ab 0,2 bar		Nässung von Poren im Pyrolus-Material (s. Abbildung 3)
3*	bei Befüllung	Undichtigkeit im Bereich des gerissenen Gummi-Hutprofils (s. Abbildung 3) und ggf. im Bereich der Krempe	
4	bei Befüllung	Übergang zw. Betonrohr und Hutprofil	---
5	bei Befüllung		---
6	bei Befüllung		---

*Stutzen Nr. 3 mit gerissenem Gummi-Hutprofil

2 Versuchsreihe II – Dichtwirkung des Gummi-Profiles bei beschädigtem Pyrolus-Profil

Ziel der zweiten Versuchsreihe war es, die Dichtwirkung des Gummi-Profiles nach Versagen bzw. Beschädigung des Pyrolus-Profiles nachzuweisen. Dazu wurde eine Teststrecke aus einem Beton-Hauptrohr DN 300 mit zwei 160 mm Bohrungen und davor platzierten Steinzeugrohren DN 150 errichtet. In diese wurden zwei Flexofit-Profile eingebaut, bei denen das Pyrolus-Profil vorgeschädigt wurde. In einem Abstand von ca. 4 cm von der Naht des Pyrolushutes wurden 10 Löcher mit einem Durchmesser von ca. 1 cm geschnitten (vgl. Abbildung 7).



Abbildung 7: Vorgeschädigtes Pyrolus-Hutprofil

Die **Dichtheitsprüfung** nach der Sanierung mit umliegenden Steinzeugrohren deutete wiederum auf Hinterläufigkeiten der in den Anschlusskanal einragenden Hutzyylinder hin. An beiden Stützen trat bereits bei der Befüllung Wasser am Übergangsbereich zwischen Steinzeug und Hutprofil aus. Um die Hinterläufigkeit eindeutig feststellen zu können, wurden auch bei diesem Aufbau die umliegenden Steinzeugrohre entfernt, die Enden der Hutprofile mit PVC-Kappen abgedichtet und die Prüfung wiederholt. Bei der anschließenden Prüfung zeigte sich bei keiner Druckstufe ein Wasseraustritt. Undichtigkeiten im Material und Hinterläufigkeiten der Hutkrempe können somit ausgeschlossen werden.

3 Versuchsreihe III – Kennwerte von Materialproben

In der dritten Versuchsreihe wurden exemplarisch Kennwerte von drei Materialproben des Polyestergewebes (BRAWOLINER) mit und ohne EPDM-Matte bestimmt. Die Proben bestanden aus folgenden Materialien:

- Polyestergewebe mit Epoxidharz (BRAWOLINER),
- Polyestergewebe und Epoxidharz mit 0,8 mm Gummi-Matte,
- Polyestergewebe und Epoxidharz mit 1,4 mm Gummi-Matte.

Die Proben wurden hergestellt, indem rechteckige Matten aus Polyestergewebe mit Harz getränkt, die Matten anschließend zwischen zwei ebene Platten gelegt und mit Gewichten bis zum Ende der Aushärtungszeit belastet wurden. Bei zwei der drei Materialproben wurde zusätzlich eine Gummi-Matte auf das Polyestergewebe gelegt.

Aus den rechteckigen Materialproben wurden Probekörper für folgende Versuche geschnitten:

➤ **Kurzzeit - E-Modul:**

Der E-Modul wurde im Dreipunkt-Biegeversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 178 [3] bzw. DIN EN 13566-4 [4] bestimmt. Geprüft wurden jeweils vier Probekörpern ca. 8 cm x 5 cm.

➤ **Kurzzeit - Biegezugfestigkeit:**

Die Biegezugfestigkeit wurde im Dreipunkt-Biegeversuch in Anlehnung an die DIN EN ISO 178 [3] bzw. DIN EN 13566-4 [4] bestimmt. Geprüft wurden jeweils vier Probekörpern ca. 8 cm x 5 cm.

➤ **Zugfestigkeit:**

Die Zugfestigkeit wurde in Anlehnung an die DIN EN ISO 527 [5] an jeweils drei Probekörpern 15 cm x 1 cm geprüft.

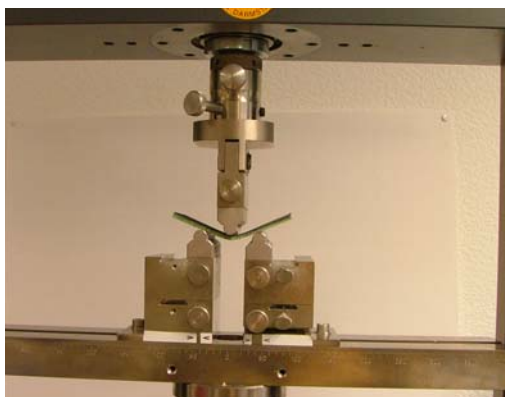


Abbildung 8: Probe im Dreipunkt-Biegeversuch (li) und Probe im Zugversuch (re)

Die Ergebnisse der Prüfungen sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 zusammengestellt. Bei sämtlichen Versuchen wurde bei der Berechnung der Festigkeiten und E-Moduln lediglich die Dicke des BRAWOLINERS für die Probendicke berücksichtigt. Zum einen sollen mögliche Einfluss des Gummis auf die Materialkennwerte des Liners ermittelt werden, d.h. es werden gleiche Berechnungsgrundlagen benötigt, zum anderen ist keine tragende Wirkung des Gummis am Gesamtquerschnitt anzunehmen. Bei den ermittelten E-Moduln handelt es sich somit um rein rechnerische Größen unter Ansatz der Linerwanddicke.

Die **Dreipunkt-Biegeversuche** ergaben für den reinen BRAWOLINER den geringsten E-Modul (Mittelwert: 3160 N/mm²) und die geringste Biegezugfestigkeit (Mittelwert: 56,69 N/mm²). Für den BRAWOLINER mit dem 0,8 mm starken Gummi wurde ein mittlerer E-Modul (Mittel: 3470 N/mm²) und die größte Biegezugfestigkeit (Mittel: 68,07 N/mm²) ermittelt und für die Proben mit dem 1,4 mm starken Gummi zeigten sich ein mittlerer E-Modul (Mittelwert: 4086 N/mm²) mit der größten Biegezugfestigkeit (Mittel: 65,72 N/mm²). Einen Überblick zu den Prüfergebnissen gibt Tabelle 9, die zugehörigen Diagramme sind in Anhang 1 abgebildet.

Auch wenn die Proben mit Gummi im Mittel höhere Werte zeigten als die reinen BRAWOLINER-Proben, kann kein direkter Zusammenhang mit dem Einsatz einer Gummi-Matte abgeleitet werden, da die Wanddicken der Linerproben unterschiedlich waren. Wie bei Einbauten von Hutprofilen, Kurzlinern oder Linern in der Praxis konnten auch bei der Herstellung der Probekörper im IKT nicht exakt gleiche Wanddicken erzeugt werden. Mit Unterschieden in den Wanddicken sind gleichzeitig auch Unterschiede im Gewebe/Harz-Verhältnis und/oder der Kompression der Werkstoffe verbunden. Diese Unterschiede können sich auch auf die Materialkennwerte auswirken.

Ein Vergleich einzelner Probekörpern mit annähernd vergleichbaren Wanddicken (in Tabelle 9 farbig markiert) zeigt ebenfalls keine deutlichen Zusammenhänge zwischen Messwerten und Materialkombinationen. Des Weiteren zeigen sich gegenüber dem Vergleich der Mittelwerte teilweise andere Tendenzen.

Ebenfalls lassen die Ergebnisse der **Zugversuche** keinen eindeutigen Einfluss des Gummis auf die Zugfestigkeiten des Liners erkennen. Zwar wurden Unterschiede in den Festigkeiten der verschiedenen Proben gemessen, doch auch hier können die Einflüsse aus unterschiedlichen Probendicken, unterschiedlichen Materialkompressionen und Zusammensetzungen gegenüber möglichen Einflüssen des Gummis nicht getrennt werden. Beim BRAWOLINER mit 1,4 mm starken Gummi wurden die geringsten Werte (Zugfestigkeit: 25,46 N/mm²; E-Modul: 3343 N/mm²; Dehnung: 1,03 %) bei der größte Wanddicken (2,88 mm) gemessen. Dagegen lieferte der Liner mit dem 0,8 mm Gummi die größten Werte (Zugfestigkeit = 34,91 N/mm²; E-Modul = 3680 N/mm²; 2,28 %) bei der kleinsten Wanddicke (Mittel = 1,95 mm).

Zusammenhänge zwischen dem Gummi und dem Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Probekörper lassen sich nur in Bereichen der Kurven nach Bruch bzw. Anriss des BRAWOLINERS ableiten. Bei den reinen Linerproben rissen bei Erreichen der Maximalspannung die Fasern auf der Seite ohne Außenfolie (vgl. Abbildung 9), verbunden mit einem plötzlichen Spannungsabfall (vgl. Abbildung 10). Auch bei den Probekörpern mit Gummi riss der Liner auf der Seite ohne Folie (s. Abbildung 9). Da diese Seite mit dem Gummi verbunden ist, wur-

de das Gummi nach Bruch des Liners beansprucht. Entsprechend zeigen die Spannungs-Dehnungs-Kurven einen langsameren Abfall der Spannung mit einer starken Dehnung der Probe (Abbildung 11 und Abbildung 12).

Sowohl bei den Dreipunkt-Biegeversuchen als auch bei den Zugversuchen entstanden **keine sichtbaren Schäden am Gummi**. Somit war das Gummi scheinbar nicht durch chemische Komponenten des Harzes angegriffen worden, noch ist der Verbund des Gummis mit dem BRAWOLINER so hoch gewesen, dass es mit dem Liner riss. Das Gummi löste sich im Rissbereich vom Liner, sodass eine Rissbreitenüberbrückung durch das Gummi entstand.

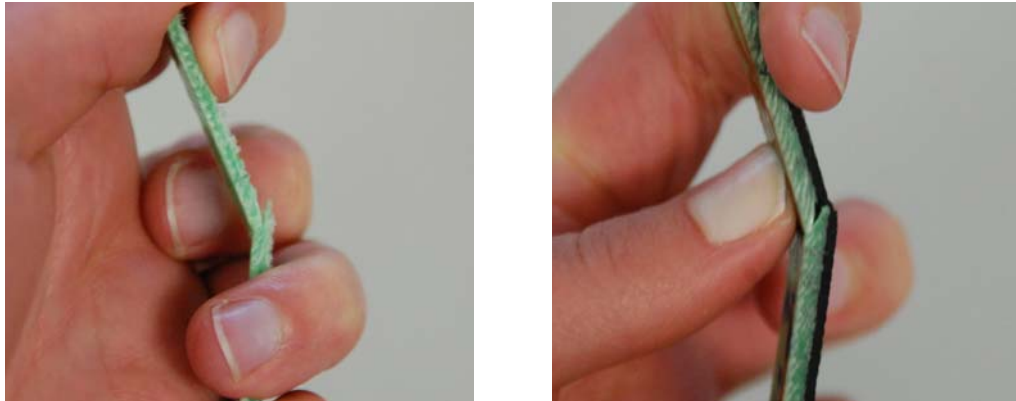


Abbildung 9: Durch Zugbeanspruchung angerissener Liner; links: ohne Gummi und rechts: mit 1,4 mm Gummi

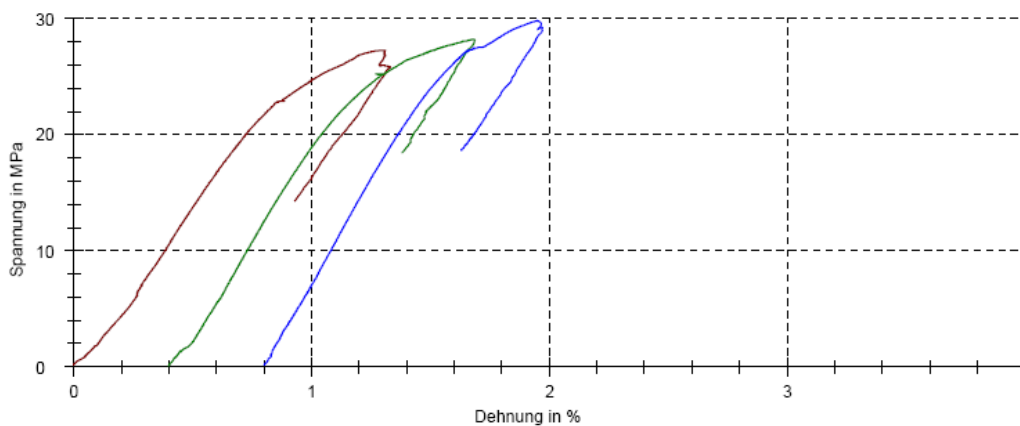


Abbildung 10: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Zugversuches an Probekörpern aus reinem BRAWOLINER

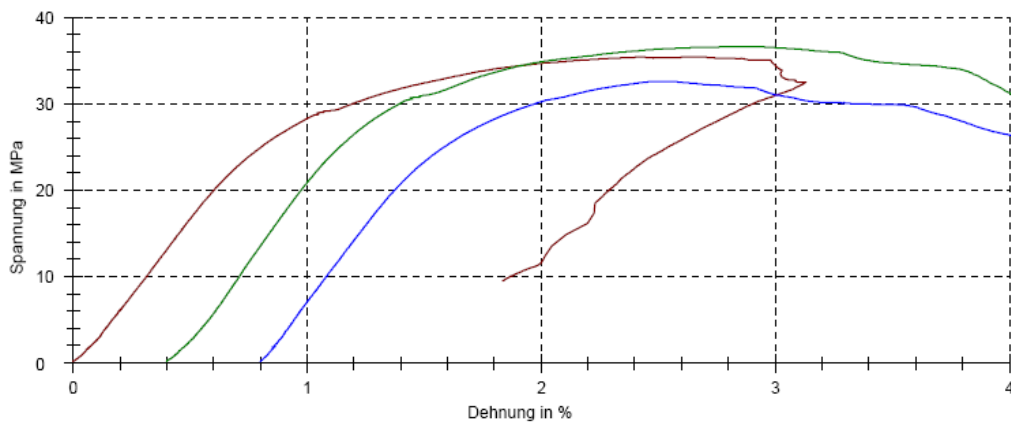


Abbildung 11: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Zugversuches an Probekörpern aus BRAWOLINER und 0,8 mm Gummi

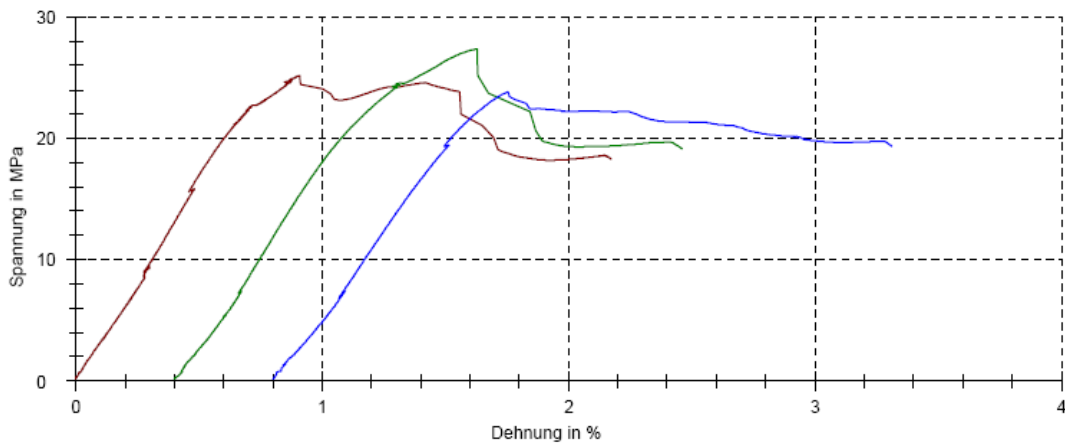


Abbildung 12: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Zugversuches an Probekörpern aus BRAWOLINER und 1,4 mm Gummi

Tabelle 9: Ergebnisse der Dreipunkt-Biegeversuche

Probekörper	Probendicke ¹ e [mm]	E-Modul ² [N/mm ²]	Spannung beim ersten Bruch - Biegezugfestigkeit - σ_{f_B} [N/mm ²]	Maximalspannung σ_{f_M} [N/mm ²]
Polyestergewebe – Probe 1	2,15	3326	57,44	57,44
Polyestergewebe – Probe 2*	2,65*	3820*	60,51*	66,12*
Polyestergewebe – Probe 3	2,19	2993	55,93	55,93
Mittel (Probe 1 und 3)	2,17	3160	56,69	56,69
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 1*	2,07*	2867*	56,79*	56,79*
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 2	2,61	3618	69,59	69,59
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 3	3,01	3397	69,41	69,41
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 4	2,97	3396	65,21	63,37
Mittel (Probe 2-4)	2,86	3470	68,07	68,47
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 1	2,80	3888	65,69	65,76
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 2	2,70	4217	66,49	66,49
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 3	2,42	4152	64,99	66,77
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 4*	2,08*	3999*	65,05*	67,31*
Mittel (Proben 1-3)	2,64	4086	65,72	66,34

¹ Probengesamtdicke abzüglich Dicke der Innenfolie und des Gummis

² Es handelt sich um eine rein rechnerische Größe aus den Biegezugversuchen nach DIN EN ISO 178 bzw. DIN EN 13566-4 unter Ansatz der Linerwanddicke

* Probe wurde aufgrund stark abweichender Wanddicke nicht bei der Mittelwertbildung berücksichtigt

Markierungen: Proben mit Wanddicken zw. 2,07 und 2,19 mm (gelb) und Proben mit Wanddicken zw. 2,61 und 2,70 mm (blau)

Tabelle 10: Ergebnisse der Zugversuche

Probekörper	Probendicke ¹ e [mm]	Zug- Modul ² [N/mm ²]	Maximalspannung/ Zugfestigkeit σ_M [N/mm ²]	Maximaldehnung ϵ [mm]	Maximaldehnung ϵ [%]
Polyestergewebe – Probe 1*	2,69*	2902*	25,13*	0,65*	1,30*
Polyestergewebe – Probe 2*	2,81*	3559*	27,90*	0,64*	1,28*
Polyestergewebe – Probe 3*	2,65*	3367*	27,81*	0,57*	1,15*
Mittel	2,72*	3404*	28,43*	0,62*	1,24*
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 1	1,99	3514	35,44	1,33	2,67
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 2	1,92	3955	36,66	1,23	2,47
Polyestergewebe mit 0,8 mm Gummi – Probe 3	1,94	3570	32,62	0,85	1,71
Mittel	1,95	3680	34,91	1,14	2,28
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 1	2,88	3601	25,19	0,45	0,91
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 2	2,87	3377	27,37	0,61	1,23
Polyestergewebe mit 1,4 mm Gummi – Probe 3	2,90	3052	23,83	0,48	0,95
Mittel	2,88	3343	25,46	0,52	1,03

¹ Probengesamtdicke abzüglich Dicke der Innenfolie und des Gummis

² Es handelt sich um eine rein rechnerische Größe aus den Biegezugversuchen nach DIN EN ISO 178 bzw. DIN EN 13566-4 unter Ansatz der Linerwanddicke

* Die Proben sind nahe der Einspannstelle gebrochen (Bereich der geringsten Probendicke) und sind nach DIN EN ISO 527 zu verwerfen. Um Anhaltswerte für E-Modul, Spannungen und Dehnungen zu erhalten, wurde die nahe der Bruchstelle gemessene Probendicke angesetzt.

4 Schlussfolgerungen

Die wesentlichen Schlussfolgerungen aus den Versuchen werden im Folgenden zusammengefasst:

- Wie auch bei den Vorversuchen war sowohl das Einziehen des Flexofit-Profils in den Versetzpacker, als auch die Inversion in den Anschlusskanal in einem Arbeitsschritt möglich. Während des Einbaus traten allerdings z.T. technische Schwierigkeiten durch einen verzögerten Druckabbau im Versetzpacker auf, der zu Schwierigkeiten beim Einziehen des Hutprofils in den Packer führte.
- Ein positiver Effekt des zusätzlichen Gummi-Profils ist seine Funktion als „Schalung“ für das Pyrolus-Profil. Sowohl bei den Vorversuchen als auch bei den Hauptversuchen trat bei fehlendem oder angerissenem Gummi-Profil Harz aus. Beide Stutzen waren bereits bei geringen Druckstufen undicht. Insbesondere bei Hohlräumen im Erdreich kann durch das zusätzliche Gummi-Hutprofil Harzverlusten und späteren Undichtigkeiten in diesem Bereich vorgebeugt werden.
- Als Schwachstelle des Flexofit zeigten sich Umläufigkeiten der in den Steinzeug-Anschlusskanal einragenden Hutzylinder. Offensichtlich war zwischen dem Pyrolus-Gewebe und dem Steinzeugrohr mit neuwertiger Glasur keine ausreichende Verklebung entstanden. Auch der IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ aus dem Jahr 2004 [6] ergab Schwächen in der Dichtfunktion zahlreicher Hutprofile. Je nach Schadensbild waren hier bei der Innenwasserdruckprüfung ca. 70% bis 100% der Hutprofile bereits nach der Sanierung undicht.
- Ein Verbesserungspotential für die Stutzensanierung und den Einsatz des Flexofit liegt somit in der Steigerung der Haftung der Hutzylinder auf Steinzeugoberflächen. Möglicherweise kann dies durch Anfräsen der Oberfläche erreicht werden. Inwieweit in der Praxis bei vorgeschädigten Steinzeugoberflächen mit einer höheren Klebewirkung zu rechnen ist, kann nicht abschließend geklärt werden. In jedem Fall bleibt die gründliche Reinigung des Anschlusskanals eine wichtige Voraussetzung für die Haftung und somit die Dichtwirkung.
- Für den Bereich der Hutkrempe im Beton-Hauptkanal zeigte sich eine bessere Haftung und Dichtwirkung. Im Anschluss an die Sanierung wurde durch fünf von sechs Kremen eine eindeutige Abdichtung erzielt. Beim sechsten Stutzen mit angerissenem Gummi-Profil trat Wasser aus. Inwieweit das Wasser nur aus dem Bereich mit fehlender Gummi-Überdeckung oder auch aus dem Krempebereich stammte, war nicht eindeutig erkennbar.
- Die Verkehrslastsimulation erzeugte keine optisch erkennbaren Schäden an den Flexofit-Profilen. Auch die Dichtheitsprüfung lieferte positive Ergebnisse. Nach der Belastung trat an einem Stutzen eine Undichtigkeit auf, die im Vorfeld der Belastung nicht festgestellt worden war.
- Die Hochdruckspülungen führten an allen Hutkremen zu Schäden. Im dem durch die Spüldüse am stärksten belasteten Sohlbereich wurden die Kremen teils von der Be-

tonoberfläche gelöst, sodass Hinterläufigkeiten und somit Undichtigkeiten der Flexofit-Profile entstanden. Möglicherweise wurde durch die extreme Vorbelastung mit 186.000 Abwinkelungen bereits eine Vorschädigung der Hutkrempe verursacht. Allerdings waren auch bei den Vorversuchen an zwei von fünf Stützen Schäden und Hinterläufigkeiten der Krempe durch die Hochdruckreinigung entstanden. Auch beim IKT-Warentest „Reparaturverfahren für Anschlussstutzen“ [6] führten die Hochdruckspülungen bei zahlreichen Hutprofilen zu Schäden an den Krempe.

- Die Simulation von eintretendem Grundwasser zeigte keine negativen Beeinträchtigungen der Sanierung. Durch das außen liegende Gummiprofil wurde das Harz vor dem Wasser geschützt und Abspülungen vorgebeugt.
- Durch die exemplarischen Dreipunkt-Biege- und Zugversuche an Probekörpern aus reinem Polyestergewebe und an Proben aus Polyestergewebe und Gummi entstanden bei Versagen des Polyestergewebes keine sichtbaren Schäden am Gummi.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein zusätzliches Gummi-Hutprofil unterstützend auf die Dichtwirkung eines herkömmlichen Hutprofils aus Polyestergewebe/-filz wirken kann. Durch seine Schalungsfunktion kann Harzverlusten und daraus folgenden Undichtigkeiten im Polyester-Profil vorgebeugt werden, die beispielsweise bei Hohlräumen im Erdreich oder bei eindringendem Grundwasser entstehen können. Darüber hinaus kann das Gummi-Hutprofil die Abdichtungsfunktion übernehmen, wenn im Polyester-Hutprofil Schwachstellen oder Schäden auftreten. Voraussetzung dafür ist, dass das Gummi-Profil sowohl im Bereich der Hutkrempe als auch im Bereich des Hutzylinders ausreichend vom Polyester-Profil überdeckt wird und dieses abdichtend mit dem Altrohr verklebt ist.

Die Versuche bestätigten, dass das Flexofit-Profil widerstandsfähig gegenüber Beanspruchungen aus Verkehrslasten bei geringer Überdeckungshöhe ist. Allerdings zeigten die Versuche auch, dass hinsichtlich der Haftung des Hutzylinders auf glasierten Steinzeugoberflächen ein Verbesserungspotential besteht. Fehlt an dieser Stelle ein ausreichender Verbund, kann Fremdwasser über Hinterläufigkeiten in den Kanal gelangen bzw. Abwasser austreten. Des Weiteren besteht das Risiko, bei Hochdruckspülungen Schäden an der Hutkrempe zu verursachen, wenn eine ungünstige Lage der Hutkrempe in der Rohrsohle eine gute Angriffsfläche für die Spüldüse bietet. Um die Spülsicherheit der Hutprofile weiter zu erhöhen, könnte die Haftung der Krempe im Hauptrohr verbessert werden, alternativ sind reduzierte Spüldrücke und Spülwassermengen denkbar.

Literaturverzeichnis

- [1] Bericht „Voruntersuchungen FLEXTIGHT am IKT - Versuchsaufbau und Ergebnisse“.
IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Dezember 2007
- [2] „Berechnungen zu den Belastungsuntersuchungen am IKT“,
Convia Ingenieurgesellschaft Hannover, 2008
- [3] DIN EN ISO 178 Kunststoffe – Bestimmung der Biegeeigenschaften
(ISO 178:2001 + Amd. 1:2004); Deutsche Fassung EN ISO 178:2003 + A1:2005)
- [4] DIN EN 13566-4 Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen
Entwässerungsnetzen (Freispegelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauchlining, April 2003
- [5] DIN EN ISO 527 Bestimmung von Zugeigenschaften; Teil 4: Prüfbedingungen für isotrop und
anisotrop faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe, Deutsche Fassung Juli 1997
- [6] Bosseler, B.; Kaltenhäuser, K.: Endbericht „IKT-Warentest – Reparaturverfahren für
Anschlussstutzen“, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Juni 2004

Anhang 1

Ergebnisprotokolle der Dreipunkt-Biegeversuche und der Zugversuche

Prüfprotokoll: W0016

Baumaßnahme: -

Prüfnorm	: DIN EN ISO 178 (DIN EN 13566-4)	Probenbezeichnung	: Polyestergerewebe + 0,8 mm EPDM
Prüfrichtung	: Kraft auf Außenseiten	Material	: Polyestergerewebe
Prüfer/-in	: Kijan	Hersteller	: -
Datum	: 03.09.2008	Sanierungsfirma	: -
Prüfbedingung	: Klima 23/50 (gemäß ISO 291)	Probennahme	: -
Prüfmaschine	: Zwick Z010 (Klasse 1)	Probeneingang	: 03.07.08
Prüfgeschwindigkeit	: 10 mm/min	Nennweite	: -

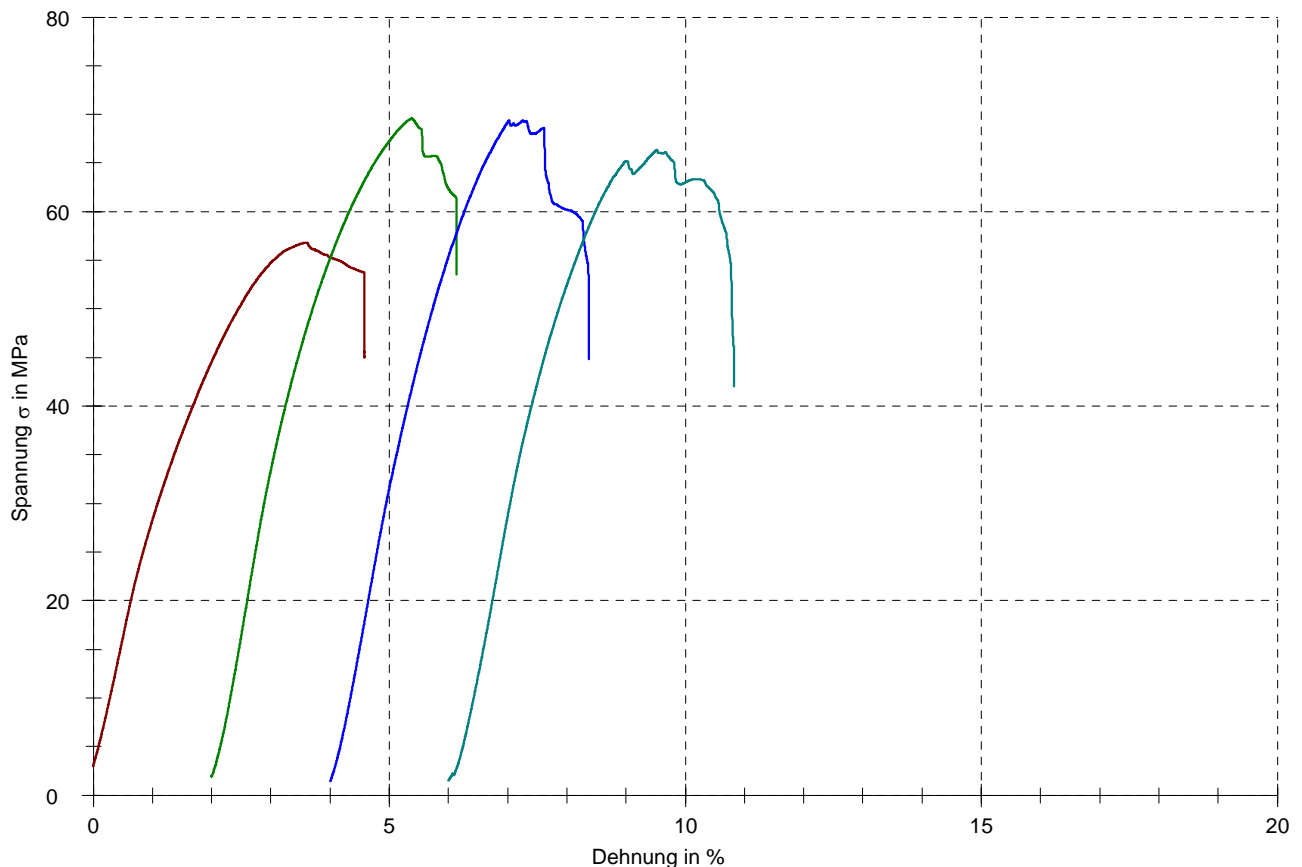
Ergebnisse:

Nr	Web-Nr.	Breite b mm	Verbunddicke e mm	L mm	E-Modul MPa	F fM N	σ fM MPa	F fB N	Biegespannung b. Bruch σ fB MPa
1	L1040-2.1	49,89	2,07	42	2867	192,70	56,79	192,70	56,79
2	L1040-2.2	49,71	2,61	42	3618	374,04	69,59	374,04	69,59
3	L1040-2.3	49,92	3,01	42	3397	498,30	69,41	498,30	69,41
4	L1040-2.4	50,04	2,97	42	3396	465,04	66,37	456,91	65,21

L = Stützweite

Verbunddicke (siehe DIN EN 13566-4, C.4.1)

Seriengrafik:



Statistik:

W0016 n = 4	Breite b mm	Verbunddicke e mm	E-Modul MPa	F fM N	σ fM MPa	F fB N	Biegespannung b. Bruch σ fB MPa
\bar{x}	49,89	2,67	3320	382,52	65,54	380,48	65,25
s	0,14	0,44	320	137,01	6,02	135,43	5,99
v	0,27	16,34	9,63	35,82	9,18	35,59	9,18

31.10.08 ,



Unterschrift Projektleiter/-in

Prüfprotokoll: W0016

Baumaßnahme: -

Prüfnorm	: DIN EN ISO 178 (DIN EN 13566-4)	Probenbezeichnung	: Polyestergerewebe + 1,4 mm EPDM
Prüfrichtung	: Kraft auf Außenseiten	Material	: Polyestergerewebe
Prüfer/-in	: Kijan	Hersteller	: -
Datum	: 03.09.2008	Sanierungsfirma	: -
Prüfbedingung	: Klima 23/50 (gemäß ISO 291)	Probennahme	: -
Prüfmaschine	: Zwick Z010 (Klasse 1)	Probeneingang	: 03.07.08
Prüfgeschwindigkeit	: 10 mm/min	Nennweite	: -

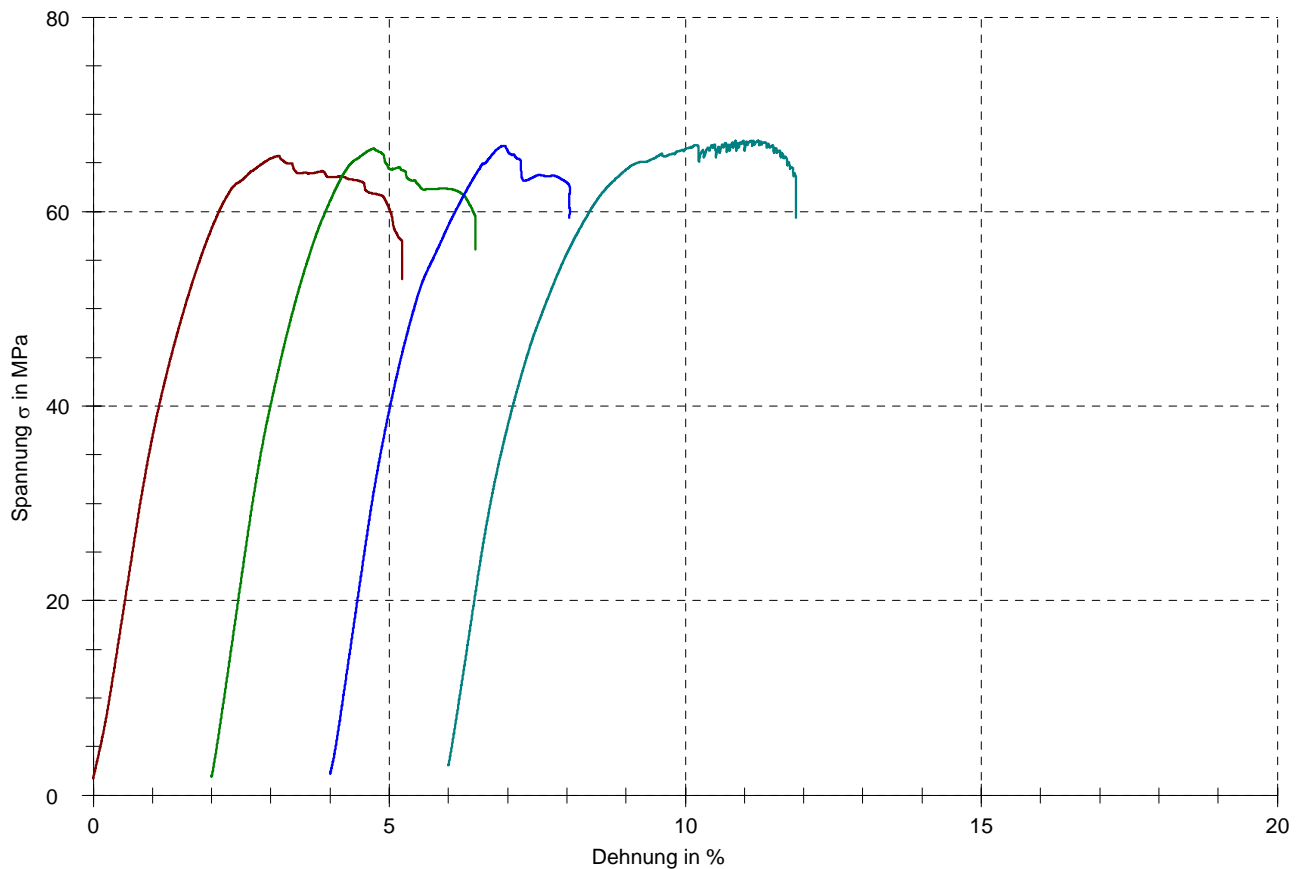
Ergebnisse:

Nr	Web-Nr.	Breite b mm	Verbunddicke e mm	L mm	E-Modul MPa	F fM N	σ fM MPa	F fB N	Biegespannung b. Bruch σ fB MPa
1	L1040-3.1	50,08	2,80	42	3888	409,81	65,76	409,38	65,69
2	L1040-3.2	50,03	2,70	42	4217	384,94	66,49	384,94	66,49
3	L1040-3.3	49,91	2,42	42	4152	309,81	66,77	301,53	64,99
4	L1040-3.4	49,76	2,08	42	3999	230,03	67,31	222,27	65,05

L = Stützweite

Verbunddicke (siehe DIN EN 13566-4, C.4.1)

Seriengrafik:



Statistik:

W0016 n = 4	Breite b mm	Verbunddicke e mm	E-Modul MPa	F fM N	σ fM MPa	F fB N	Biegespannung b. Bruch σ fB MPa
\bar{x}	49,94	2,50	4064	333,64	66,58	329,53	65,55
s	0,14	0,32	149	81,11	0,65	85,12	0,70
v	0,29	12,92	3,66	24,31	0,97	25,83	1,07

31.10.08 ,



Unterschrift Projektleiter/-in

Prüfprotokoll: W0016

Baumaßnahme: -

Prüfnorm	: DIN EN ISO 178 (DIN EN 13566-4)	Probenbezeichnung:	nur Polyestergewebe
Prüfrichtung	: Kraft auf Außenseiten	Material	: Polyestergewebe
Prüfer/-in	: Kijan	Hersteller	: -
Datum	: 16.10.2008	Sanierungsfirma	: -
Prüfbedingung	: Klima 23/50 (gemäß ISO 291)	Probennahme	: -
Prüfmaschine	: Zwick Z010 (Klasse 1)	Probeneingang	: 03.07.08
Prüfgeschwindigkeit	: 10 mm/min	Nennweite	: -

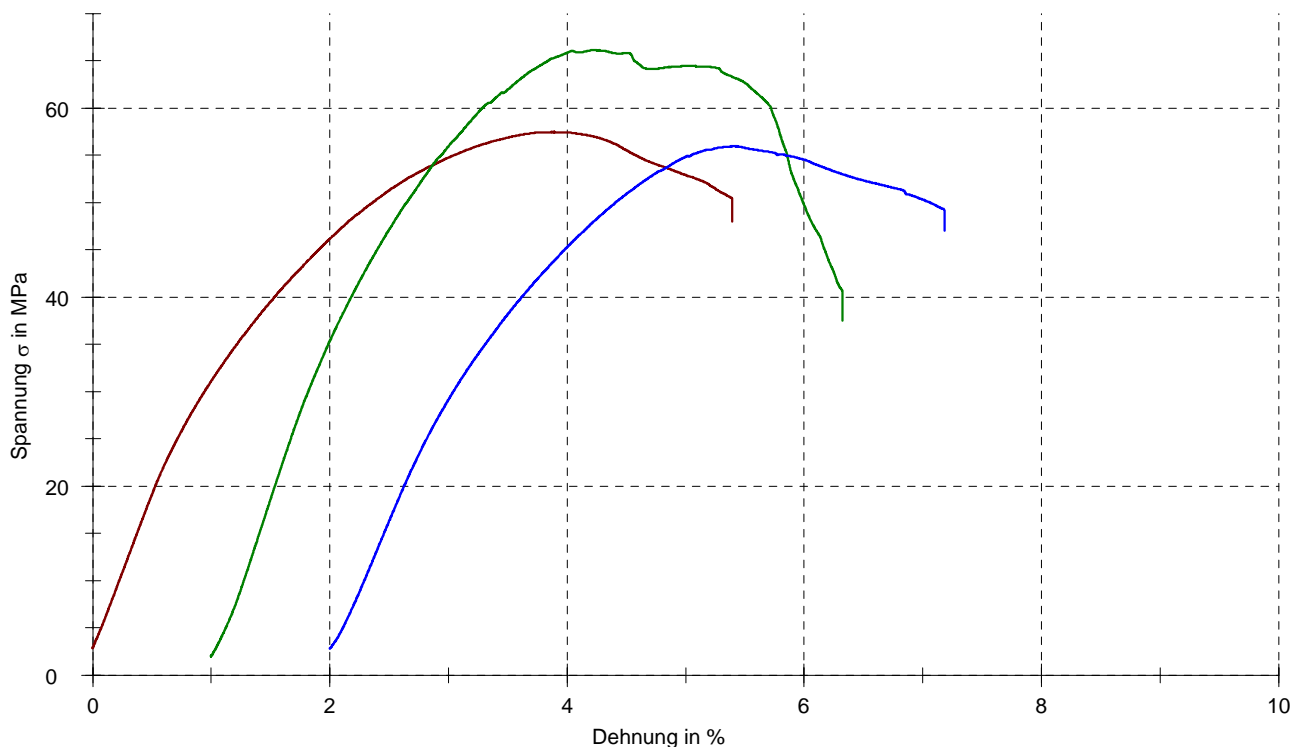
Ergebnisse:

Nr	Web-Nr.	Breite b mm	Verbunddicke e mm	L mm	E-Modul MPa	F fM N	σ fM MPa	F fB N	Biegespannung b. Bruch σ fB MPa
1	L1040-1.4	49,87	2,15	42	3326	210,19	57,44	210,19	57,44
2	L1040-1.5	49,37	2,65	42	3820	363,90	66,12	333,01	60,51
3	L1040-1.6	49,39	2,19	42	2993	210,30	55,93	210,30	55,93

L = Stützweite

Verbunddicke (siehe DIN EN 13566-4, C.4.1)

Seriengrafik:



Statistik:

W0016 n = 3	Breite b mm	Verbunddicke e mm	E-Modul MPa	F fM N	σ fM MPa	F fB N	Biegespannung b. Bruch σ fB MPa
\bar{x}	49,54	2,33	3380	261,46	59,83	251,17	57,96
s	0,28	0,28	416	88,71	5,50	70,88	2,33
v	0,57	11,92	12,31	33,93	9,19	28,22	4,03

16.10.2008 ,



Unterschrift Projektleiter/-in

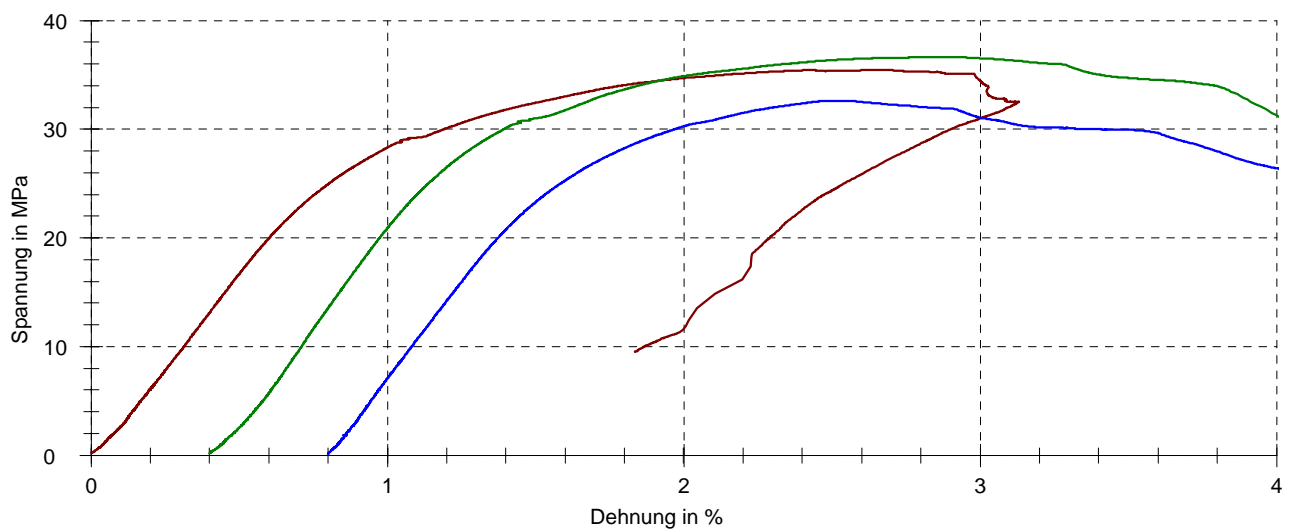
Prüfprotokoll: W0016

Prüfnorm	: DIN EN ISO 527	Prüfmaschine	: Zwick 1446 (Kl. 1)
Prüfung	: Zugversuch ISO 527-4/-5	Prüfer	: Volprecht
Baumaßnahme	: -	Datum	: 08.09.2008
Probenbezeichnung	: Polyestergerewebe + 0,8mm EPDM	Prüfgeschwindigkeit	: 2 mm/min
Material	: Polyestergerewebe	Wegaufnehmer	: Multisens
Hersteller	: -	Probenhalter	: Spannzangen
Sanierungsfirma	: -	Parallele Probenlänge	: 50 mm
Probennahme	: IKT	Prüfklima	: 23 °C und 50% rel. LF
Probeneingang	: 03.07.08		

Ergebnisse:

Nr	WEB-Nr.	Probendicke h mm	Probenbreite b mm	σ M MPa	ϵ M %	Zug-Modul Et MPa
1	L1040-2.3	1,99	10,14	35,44	2,67	3513,75
2	L1040-2.4	1,92	10,16	36,66	2,47	3954,94
3	L1040-2.5	1,94	10,05	32,62	1,71	3570,49

Seriengrafik:



Statistik:

W0016 n = 3	Probendicke h mm	Probenbreite b mm	σ M MPa	ϵ M %	Zug-Modul Et MPa
\bar{x}	1,95	10,12	34,91	2,28	3679,73
s	0,04	0,05859	2,07	0,51	240,02
v	1,85	0,58	5,94	22,18	6,52
min	1,92	10,05	32,62	1,71	3513,75
max	1,99	10,16	36,66	2,67	3954,94

31.10.2008

Unterschrift (Prüfer)

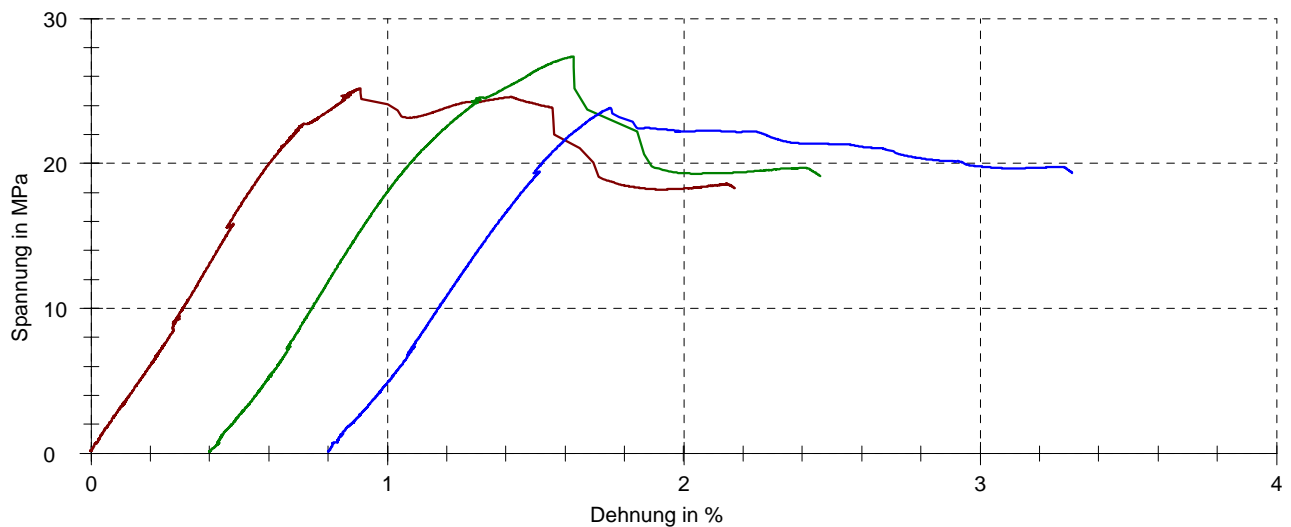
Prüfprotokoll: W0016

Prüfnorm	: DIN EN ISO 527	Prüfmaschine	: Zwick 1446 (Kl. 1)
Prüfung	: Zugversuch ISO 527-4/-5	Prüfer	: Volprecht
Baumaßnahme	: -	Datum	: 08.09.2008
Probenbezeichnung	: Polyestergewebe + 1,4 mm Gummi	Prüfgeschwindigkeit	: 2 mm/min
Material	: Polyestergewebe	Wegaufnehmer	: Multisens
Hersteller	: -	Probenhalter	: Spannzangen
Sanierungsfirma	: -	Parallele Probenlänge	: 50 mm
Probennahme	: IKT	Prüfklima	: 23 °C und 50% rel. LF
Probeneingang	: 03.07.08		

Ergebnisse:

Nr	WEB-Nr.	Probendicke h mm	Probenbreite b mm	σ M MPa	ϵ M %	Zug-Modul Et MPa
1	L1040-3.1	2,88	10,13	25,19	0,91	3601,45
2	L1040-3.2	2,87	10,09	27,37	1,23	3376,81
3	L1040-3.3	2,90	10,12	23,83	0,95	3051,70

Seriengrafik:



Statistik:

W0016 n = 3	Probendicke h mm	Probenbreite b mm	σ M MPa	ϵ M %	Zug-Modul Et MPa
\bar{x}	2,88	10,11	25,46	1,03	3343,32
s	0,02	0,02082	1,79	0,17	276,40
v	0,53	0,21	7,02	16,73	8,27
min	2,87	10,09	23,83	0,91	3051,70
max	2,90	10,13	27,37	1,23	3601,45



31.10.2008

Unterschrift (Prüfer)

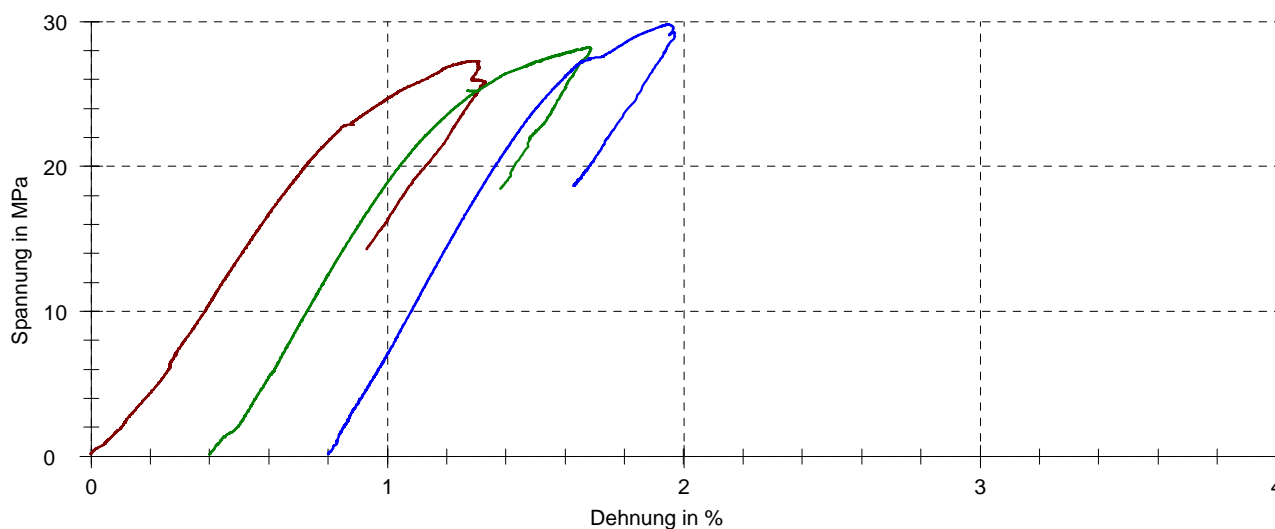
Prüfprotokoll: W0016

Prüfnorm	: DIN EN ISO 527	Prüfmaschine	: Zwick 1446 (Kl. 1)
Prüfung	: Zugversuch ISO 527-4/-/5	Prüfer	: Volprecht
Baumaßnahme	: -	Datum	: 08.09.2008
Probenbezeichnung	: nur Polyestergerewebe	Prüfgeschwindigkeit	: 2 mm/min
Material	: Polyestergerewebe	Wegaufnehmer	: Multisens
Hersteller	: -	Probenhalter	: Spannzangen
Sanierungsfirma	: -	Parallele Probenlänge	: 50 mm
Probennahme	: IKT	Prüfklima	: 23 °C und 50% rel. LF
Probeneingang	: 03.07.08		

Ergebnisse:

Nr	WEB-Nr.	Probendicke h mm	Probenbreite b mm	σ M MPa	ϵ M %	Zug-Modul Et MPa
1	L1040-1.1	2,69	9,54	27,28	1,30	3150,27
2	L1040-1.2	2,81	9,99	28,20	1,28	3454,31
3	L1040-1.3	2,65	9,68	29,80	1,15	3608,09

Seriengrafik:



Statistik:

W0016 n = 3	Probendicke h mm	Probenbreite b mm	σ M MPa	ϵ M %	Zug-Modul Et MPa
x	2,72	9,737	28,43	1,24	3404,22
s	0,08	0,2303	1,27	0,08	232,98
v	3,07	2,37	4,48	6,80	6,84
min	2,65	9,54	27,28	1,15	3150,27
max	2,81	9,99	29,80	1,30	3608,09



31.10.2008

Unterschrift (Prüfer)