

Qualitätssicherung für grabenlos verlegbare Rohre aus Polyethylen

von J. Hessel¹

1. Einleitung

Seit mehr als 6 Jahren werden Rohre aus Polyethylen hergestellt, für die der Nachweis erbracht wurde, dass sie den rauen Bedingungen der grabenlosen bzw. sandbettlosen Verlegung mit Sicherheit standhalten.

Da sich der Bruchausgang bei von außen punktbelasteten Rohren immer an der Rohrinneenseite befindet und durch langsamen Rissfortschritt bis zur Rohraußenseite fortsetzt, ist für das Bruchverhalten der Widerstand des Polyethylens gegenüber langsamem Rissfortschritt maßgebend.

In diesem Beitrag werden die notwendigen Maßnahmen zur Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Qualität vom Rohstoff bis zur Verlegung der Rohre beschrieben.

2.0 Mindestanforderungen an die Rohstoffe – Chargenprüfung -

Eine notwendige Voraussetzung zur Herstellung von PE-Rohren für grabenlose bzw. sandbettlose Verlegeverfahren ist ein entsprechend großer Widerstand der Werkstoffe gegenüber langsamem Rissfortschritt. Ein großer Widerstand gegenüber langsamem Rissfortschritt ist gleichbedeutend mit hoher Zeitstandfestigkeit bzw. hoher Spannungsrißbeständigkeit.

Ein geeignetes Prüfverfahren für diese Werkstoffeigenschaft stellt der Full Notch Creep Test (FNCT) dar. Die FNCT-Probe ist schematisch im Bild 1 gezeigt

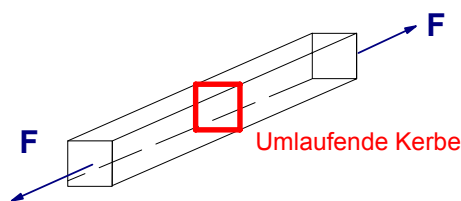


Bild 1: FNCT-Probe

So wird im DVGW-Merkblatt GW 323 zum Berstlining eine Mindestanforderung an die Standzeit im FNCT von 3300 Stunden bei der Prüfbedingung „4 N/mm²; 80 °C; 2 % Arkopal N-100“ festgelegt.

Diese Mindestanforderung stellt den Schnittpunkt der Mindestkurve im Bild 2 mit der Zeit bis zur beginnenden Wärmealterung von punktbelasteten Rohren überein.

¹ Dr.-Ing. Joachim Hessel, Hessel Ingenieurtechnik GmbH, Roetgen

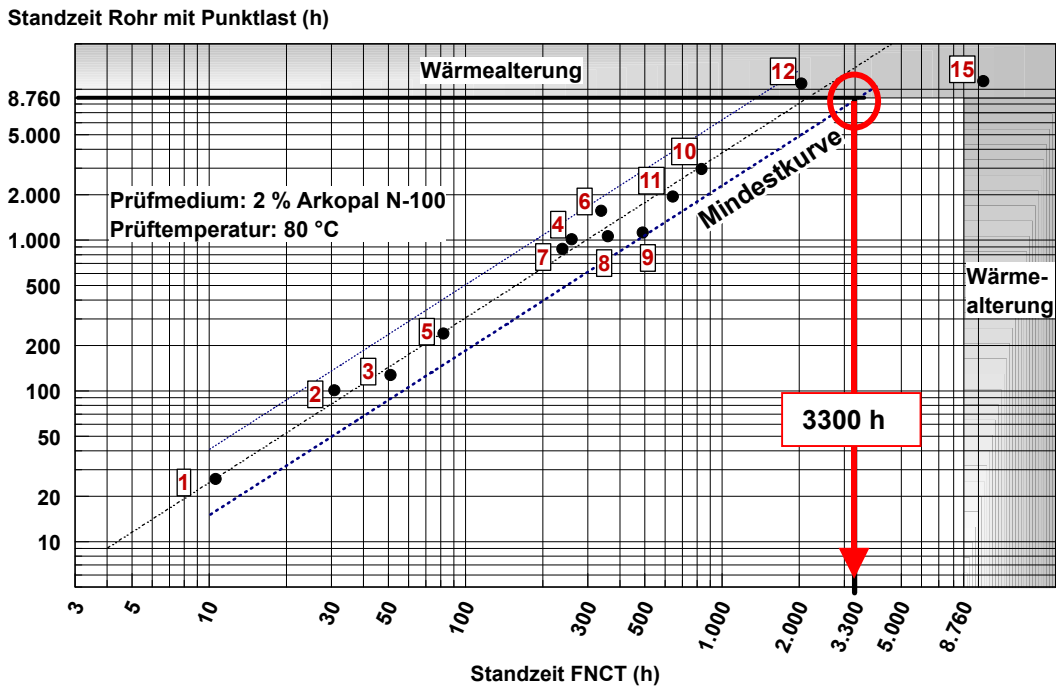


Bild 2: Korrelation zwischen FNCT und Punktlastversuchen mit eingezeichneter Mindestanforderung nach DVGW GW 323

Für einige der zur Zeit auf dem Markt angebotenen Rohstoffe sind Standzeiten von einem Jahr (8760 Stunden) im FNCT nachgewiesen worden.

Obwohl diese Rohstoffe gemessen an den DVGW-Anforderung eine erhöhte Sicherheit bieten, versteht es sich von selbst, dass derartig lange Prüfzeiten zum Zweck der Chargenprüfung nicht praktikabel sind.

Deshalb wurde ein nochmals schnelleres Prüfverfahren zur Charakterisierung des Spannungsrisssverhaltens entwickelt und nach Prüfung durch Gutachter des DAP, Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GmbH unter der Bezeichnung:

„PA ACT 2.1-9 (2005-09): Accelerated Creep Test (ACT) – Beschleunigtes Prüfverfahren mit Validierungsnachweis zur Bestimmung der Zeitstandfestigkeit von Polyolefinen“

unter der DAR Registriernummer: DAP-PL-3760.00 [1] akkreditiert.

Die dem ACT-Verfahren zugrunde liegende Korrelation ist im **Bild 3** dargestellt.

Es ergibt sich eine Mindestanforderung im ACT von 160 Stunden zur Absicherung der DVGW-Anforderung von 3300 Stunden bzw. 300 Stunden im ACT zur Absicherung von 8760 Stunden.

Damit ist in vertretbaren Prüfzeiten (ca. 1 Woche bzw. ca. 2 Wochen) die Bewertung der Spannungsrisssbeständigkeit auch von hochspannungsrisssbeständigen Werkstoffen möglich.

Standzeit (Stunden) in Arkopal N-100 (80 °C) 4 N/mm²

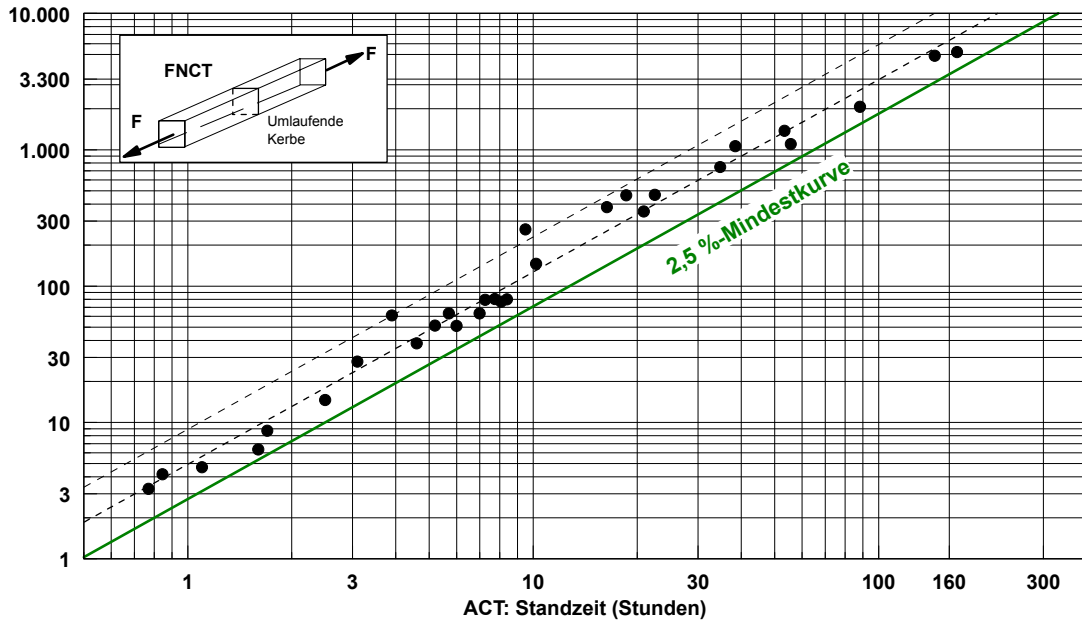


Bild 3: Korrelation zwischen dem FNCT und dem ACT-Verfahren

2.1 Mindestanforderungen an die Rohre – Punktlastbeständigkeit -

Zur Absicherung der notwendigen Qualität von grabenlos verlegbaren Rohren wird die Prüfung von Rohren im Punktlastversuch als notwendig erachtet.

Die Anforderungen an die Mindeststandzeit von punktbelasteten Rohren ist unter Berücksichtigung der Spannungsrissbeständigkeit und der Wärmealterungsbeständigkeit definiert. Beide für die langzeitige Nutzungsdauer maßgebenden Größen werden an Rohren z. B. Da 110; SDR 11 im Punktlastversuch bei 80 °C mit einem Innendruck von 8 bar (2 % Arkopal N-100) überprüft (**Bild 4**).

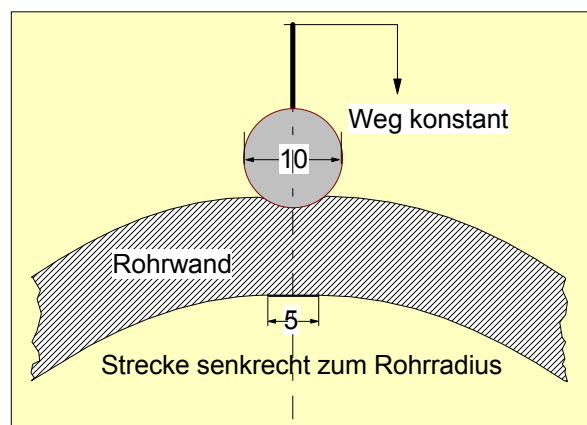


Bild 4: Prüfanordnung beim Punktlastversuch

Die geforderte Mindeststandzeit unter diesen Prüfbedingungen beträgt 8760 Stunden (1 Jahr), da diese Zeit bei 80 °C mit der Zeit der beginnenden Wärmealterung identisch ist [2].

Die Verwendung von 2 % Arkopal N-100 als Innenmedium in den Prüfrohren ist beim Erreichen der Anforderungen gleichbedeutend mit einem Sicherheitsfaktor von 2,1 [3]. Durch den Einsatz eines stärker spannungsrisssfördernden Netzmittels kann ein entsprechend höherer Sicherheitsfaktor nachgewiesen werden.

Würden die Punktlastversuche in Wasser durchgeführt, könnte KEIN Sicherheitsfaktor berechnet werden, da die Höhe der Punktlast nicht bekannt ist.

2.2 Mindestanforderungen an die Rohre – Penetrationsbeständigkeit –

Es ist nachzuweisen, dass die Penetration eines spitzen Gegenstandes (z. B. Graugussscherbe beim Berstlining) durch die Wand eines unter Innendruck stehenden Rohres bei den höchstmöglichen Betriebsdrücken innerhalb der vorgesehenen Betriebszeit des Rohres nicht zu erwarten ist.

Zur Simulation einer Graugussscherbe wird vom IKT² ein zylindrischer Stempel gemäß Bild 5 vorgeschlagen [4].

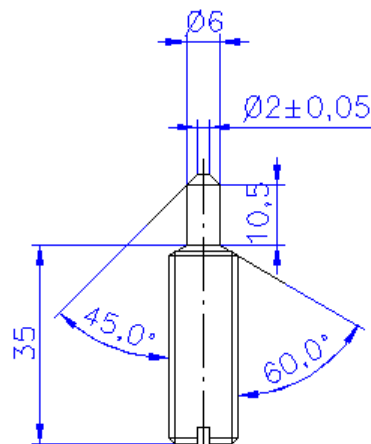


Bild 5: Maße des Prüfstempels „GG2“ mit einer abgeflachten Spitze (Durchmesser 2 mm)

Die Höhe der Umfangsspannung durch den Innendruck in den Rohren sowie die zugehörige Prüftemperatur werden aus dem Schnittpunkt der flachen „Äste“ des Zeitstanddiagramms nach DIN 8075 für PE 100 und der Grenzkurve für die beginnende Wärmealterung nach Richtlinie DVS 2205-1 Beiblatt 19 berechnet. Die berechneten Spannungswerte werden jeweils durch 1,25 (geringster Sicherheitsfaktor) geteilt und so die Prüfdrücke ermittelt. Es ergeben sich z. B. für PE 100-Rohre; SDR 11 die in Tabelle 1 genannten Prüfparameter.

² Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen

Rohrinnendruck in bar	Prüftemperatur in °C
14,96	20
11,62	40
9,32	60
7,64	80

Tabelle 1: Prüfparameter für Penetrationsversuche an PE 100-Rohren; SDR 11

Bei den vorgenannten Betrachtungen wird vorausgesetzt, dass der verwendete Rohrwerkstoff im Kontakt mit Wasser bis zur Wärmealterung keine Spannungsrisse zeigt. Diese Voraussetzung ist bei den hier betrachteten hochspannungsrissebeständigen Werkstoffen gegeben.

Die Prüfdrücke nach Tabelle 1 stellen somit die höchste Belastung bei bestimmungsgemäßem Betrieb von Rohren der Festigkeitsklasse PE 100 dar.

Ein Beispiel für die derart erhaltenen Prüfergebnisse ist im Bild 6 dargestellt [5].

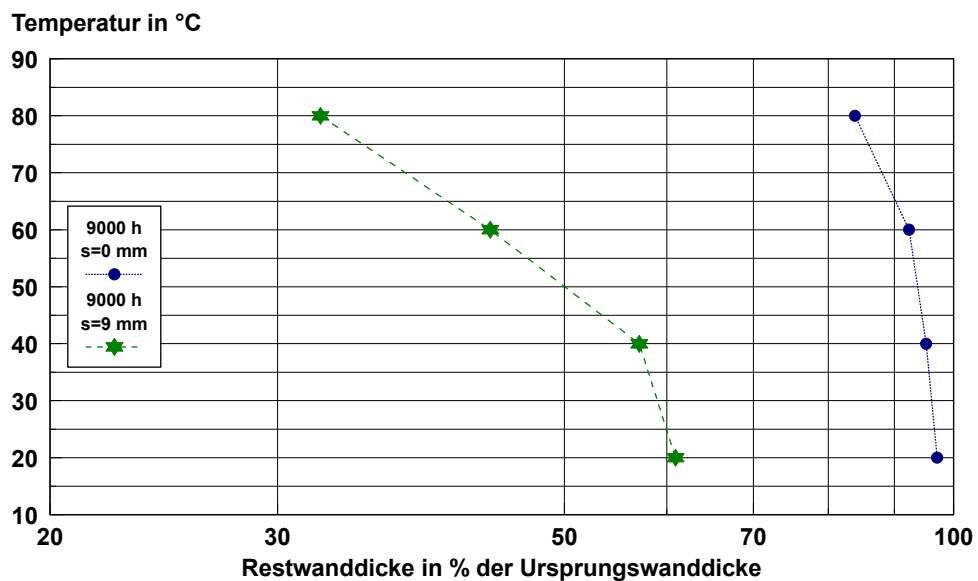


Bild 6: Restwanddicke bei Penetrationsversuchen an einem egeplast SLM® RC^{plus}-Schutzmantelrohr nach einer Prüfzeit von 9000 Stunden (s = Stempelweg)

Die gemessenen Restwanddicken werden trotz steigendem Innendruck zu niedrigeren Temperaturen größer.

Damit ist mit einer Penetration von Scherben, die durch den „GG2“-Stempel abgebildet werden können, bei z. B. 20 °C bis zum Zeitpunkt der Wärmealterung nicht zu rechnen.

2.3 Mindestanforderungen an die Rohre –Wärmealterungsbeständigkeit -

Das Wärmealterungsverhalten der PE-Rohre ist im Hinblick auf eine Gebrauchsdauer von z. B. 100 Jahren bei 20 °C unter Punktbelastung zu belegen.

Die für die Prüfung der Wärmealterung verwendeten Apparaturen (Bild 7) erlauben die Realisierung der maßgebenden Einflussgrößen Temperatur, Sauerstoffgehalt, Strömungsgeschwindigkeit und Dehnungszustand.



Bild 7: Umlaufapparatur zur Prüfung der Wärmealterung an punktbelasteten Rohren

Aus den Bruchzeiten bei verschiedenen Prüftemperaturen lässt sich die Aktivierungsenergie für den Wärmealterungsprozess berechnen.

Als Anforderung gilt eine Mindestaktivierungsenergie von 93 kJ/mol, wie sie im Beiblatt 19 zur Richtlinie DVS 2205-1 für Polyethylen festgelegt ist.

Einflüsse bei der Rohrherstellung, welche die Eigenschaften negativ beeinflussen, müssen separat untersucht werden. Hier bietet sich die „schichtweise“ Prüfung des Rohrwandquerschnitts z. B. durch den 2NCT an.

3. Validierung der Prüfverfahren

Die zur Qualitätssicherung grabenlos verlegbarer PE-Rohre eingesetzten Prüfverfahren

FNCT, ACT, Punktlastversuch und Wärmealterungsversuch

müssen hinsichtlich ihrer Präzision und Genauigkeit kontinuierlich validiert werden. Eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Voraussetzung ist die Akkreditierung des Prüflabors gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 für die o. g. Prüfverfahren.

Ein wesentlicher Bestandteil der Validierung von Langzeitprüfverfahren ist die Prüfung von Referenzproben.

Ein Beispiel für die gleichbleibende Wirksamkeit von Netzmittelösungen über einen Zeitraum von einem Jahr, die für den FNCT bzw. ACT eingesetzt werden, zeigt Bild 8.

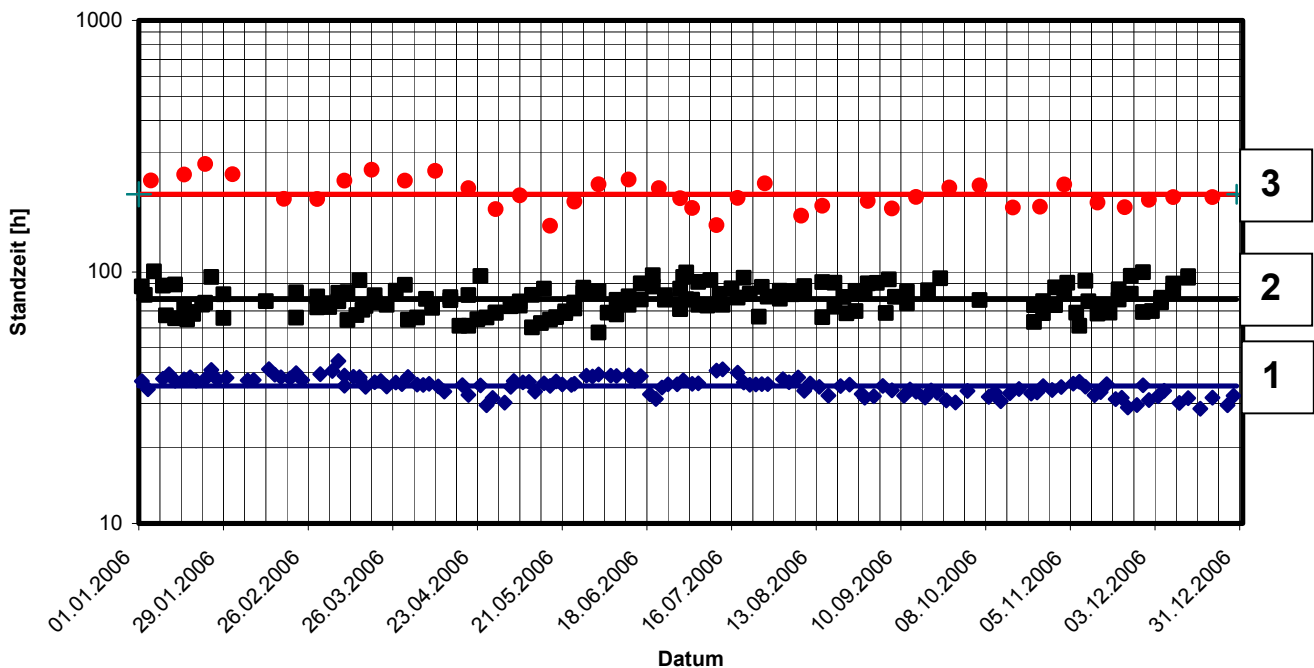


Bild 8: Ergebnisse von Prüfungen an Referenzproben über 1 Jahr

- 1: PE 100, ACT-Verfahren
- 2: PE 80; FNCT bei 80 °C, 4 N/mm², 2 % Arkopal N-100
- 3: PE 80; FNCT bei 60 °C, 4 N/mm²; 2 % Netzmittel

Die Streuung der FNCT-Meßreihen ist wesentlich geringer als z. B. die Streuung im konventionellen Zeitstandinnendruckversuch an Rohren nach DIN 8075, wo mit einer Streuung von mehreren 100 % gerechnet werden muss [6].

4. Integritätsnachweis nach der Rohrverlegung

Bei grabenlosen Verlegeverfahren können die PE-Rohre von der Rohraußenseite ausgehend zerkratzt bzw. beschädigt werden (z. B. durch spitze Steine, Scherben des Altrohres beim Berstlining).

Bei der Verwendung von PE-Rohren mit einem Schutzmantel besteht eine Möglichkeit zur Feststellung, ob das PE-Rohr („Kernrohr“) während des Einziehvorgangs beschädigt wurde, darin, einen Detektor zwischen Kernrohr und Schutzmantelrohr anzuordnen.

Beispielsweise kann ein unterhalb des Schutzmantelrohres wendelförmig um das Kernrohr angeordneter dünner elektrischer Leiter als Beschädigungsindikator dienen [7].

Prinzipiell besteht diese Möglichkeit bei allen additiv³ aufgetragenen Außenschichten.

5. Prüffrequenzen des Qualitätssicherungs-Zyklus

Aufgrund der Tatsache, dass mit dem bewussten Inkaufnehmen von Zusatzlasten (Punktlasten) Neuland im Sinne der bisherigen Festlegungen in Normen und Richtlinien beschriftet wird, werden die in Tabelle 2 genannten Prüfungen vorgeschlagen.

Lfd. Nr.	Prüfung	Anforderung	Häufigkeit	Bemerkung
1	Spannungsrissprüfung des Rohstoffs	>3300 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100 oder 160 h im ACT-Verfahren	Jede Charge	FNCT bzw. ACT an 3 Einzelproben
2	Prüfung des Verarbeitungseinflusses		Exemplarisch bei Rohstoffwechsel oder Wechsel der Extrusionsbedingungen	2NCT über Rohrwandquerschnitt
2	Punktlastversuch	8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100	Repräsentative Dimension(en)	3 Einzelproben z. B. bei 80 °C bzw. Einzelproben verteilt gemäß mathematischem Modell (z. B. Arrhenius)
3	Penetrationsversuch (Simulation einer Graugusscherbe durch „GG2“)	Restwanddicke nach 9000 h > 50 % der Ursprungswanddicke	Exemplarisch bei Rohstoffwechsel oder Änderung des Rohrwandaufbaus	Prüfbedingungen nach MAC-Konzept unter Berücksichtigung von Spannungsrissbeständigkeit und Wärmealterung
4	Wärmealterungsversuch	>100 Jahre bei 20 °C	Exemplarisch bei Rohstoffwechsel	

Tabelle 2: Prüfungen zur Qualitätssicherung

³ Zusätzlich zur Wanddicke entsprechend DIN 8074

9. Literatur

- [1] Akkreditierungsurkunde der HESSEL Ingenieurtechnik GmbH
DAP-PL-3760.00; Deutscher Akkreditierungsrat DAR
- [2] Beiblatt 19 zur Richtlinie DVS 2205-1; DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [3] Hessel, J, u. Grieser, J.: Verfahren zum Nachweis des Sicherheitsfaktors
für Rohre aus Polyethylen unter komplexer Beanspruchung
3Rinternational (44) Heft 5/2005; S. 277 - 283
- [4] Endbericht zum Forschungsprojekt: „Erneuerung mit dem Berstverfahren,
Bemessung, Prüfung und Qualitätssicherung von Abwasserrohren“,
November 2003, IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur -
Gelsenkirchen, Gefördert durch: Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW
- [5] Prüfbericht R 07 04 1066; Auftraggeber egeplast GmbH & Co. KG
- [6] Prüfbericht R06 04 909-3e; Auftraggeber DVGW
- [7] Späth, Th.: Intelligente und sichere Rohrsysteme für grabenlose
Verlegeverfahren - Theoretische Betrachtungen und Erfahrungsberichte –
Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2006, Vulkan Verlag GmbH, Essen