

Linerstatik von Druckleitungen unter Anwendung der aktuellen Standards, Lücken und Unsicherheiten bei den angewandten Nachweisverfahren

Prof. Dr.-Ing. Albert Hoch

Inhalt

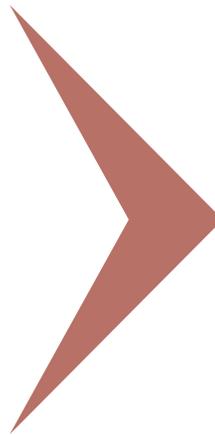
- Schadensbilder bei Druckrohren
- Bemessungsmodelle für Liner bei der Sanierung von Druckrohren mit DWA A127, A-143-2, ASTM F 1216-07b
- Nachweise, Einwirkungen, Teilsicherheitsbeiwerte und deren Kombination am Beispiel der Spannungsnachweisen
- Bruchmechanismen von verklebten Linern
- Mechanische Modellvorstellung, Einwirkungen und Bemessungsansatz und Rechenbeispiel für Lastfall III, bei verklebten Liner
- Ergebnisse/Parameterstudie
- **Ausblick zur Statik für Drucklinern:**
 - DWA Standard für Druckliner
 - Rechenprogramm für Druckliner

Graugussrohrbruch in Bayreuth



Schadensbilder bei Druckrohren

- Längsrisse im Altrohr
- Löcher im Altrohr
- Muffenspalte
- Wanddickenabtragung
- Korrosion



Einteilung gemäß DWA 143-2:

Lastsituation I oder II

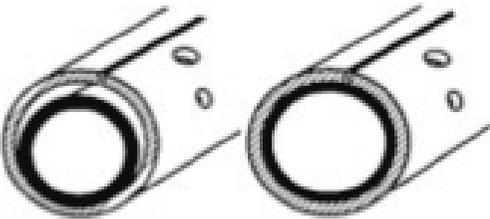
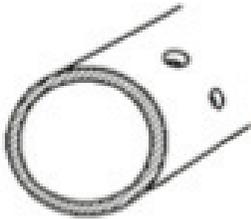
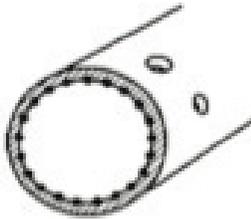
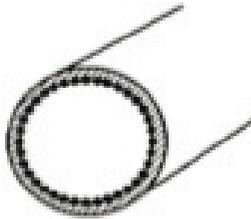
Diese Schadensbilder sind für Druckrohrleitungen von besonderer Bedeutung, da die Funktionsfähigkeit und Standfestigkeit der Altrohre dadurch signifikant beeinträchtigt werden und die Liner teilweise (**Lastfall I**) oder ganz (**Lastfall II**) die statischen Lasten aufnehmen müssen.

Regelwerke und Standards für die Statik von Druckliner

- (1) DWA A 143-2 Teil 2 Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserleitungen und-kanälen mit Lining- und Montageverfahren
- (2) DWA A 127 Statische Berechnung von Abwasserleitungen und-kanälen, 4. Auflage Stand Februar 2015
- (3) ASTM F 1216-07b
- (4) DIN EN ISO 11295



Berechnungsmodelle DIN ISO 11295

Klasse A		Klasse B	Klasse C	Klasse D
				
locker sitzend eng anliegend		eigene Ringsteifigkeit	beruht auf einer Klebeverbindung	beruht auf einer Klebeverbindung
unabhängig		interaktiv		
voll statisch belastbar		semi-statisch belastbar		nicht statisch belastbar
Rohrstrang-Lining				Diese Internationale Norm ist nicht anwendbar
	Close-Fit-Lining			
	Vor Ort härtendes Schlauch-Lining			
		Schlauch-Lining mit Klebebeschichtung		

ANMERKUNG Die Punkte in den Abbildungen der Klassen C und D stellen die Klebeverbindung dar.

Berechnungsmodelle nach DIN EN ISO 11295

Klasse A:

Voll statisch belastbar – unabhängig vom Altrohr

Einbau: Liner locker sitzend oder eng anliegend

Klasse B:

Semi-statisch belastbar – interaktiv, Altrohr trägt mit

Einbau: Liner eng anliegend, eigene Ringsteifigkeit

Klasse C:

Semi-statisch belastbar – interaktiv, Altrohr trägt mit

Einbau: eng anliegend, Klebeverbindung

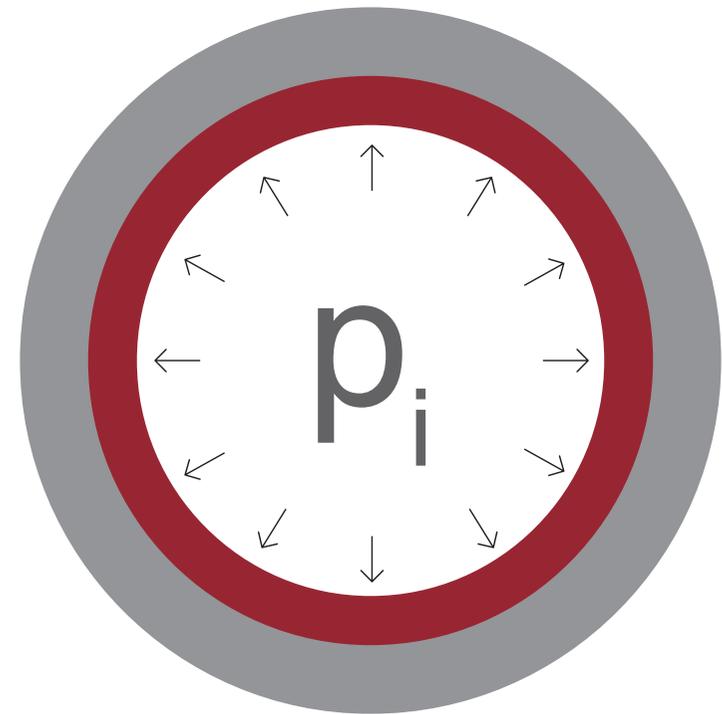
Klasse D:

Nicht statisch belastbar – interaktiv

Einbau: Klebeverbindung

Belastungen aus Innendruck speziell bei Druckrohren

- **Langzeitzustand:**
 - Betriebszustand
- **Kurzzeitige Belastung:**
 - Prüfdruck
 - Druckstoßberechnung



Nachweise Bau- und Betriebszustand

- Einziehen des Rohrstrangs: Verformung, Spannungen und Stabilität (Kurzzeittest)
- Standsicherheit Altrohr-Bodensystem, Wahl der Klassen A bis D
- Verformung, Spannungen und Stabilität in Quer- und ggf. Längsrichtung (Langzeittest)

Ermittlung des Betriebsdrucks

Barlows Formel: $P = 20 * \sigma / (SDR-1)$
 $\sigma = MRS/c$

- mit P = Betriebsdruck [MPa]
SDR = Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis
 σ = Tangential-Wandspannung [MPa]
MRS = erforderliche Mindestfestigkeit [MPa]
c = Sicherheitsfaktor

Maximaler Betriebsdruck Wasser und Gas

PE	Rohreigenschaften		Max. Betriebsdruck [bar]	
	PE	SDR	Trinkwasser/Industrie c = 1,25*	Gas c = 2,0*
PE 80 (MRS 8)		26	5,1	3,2
		17,6	8,0	4,8
		11	12,8	8
PE 100 (MRS10)		26	6,4	4
		17	10	6
		11	16	10

* Mindestwerte in EN-Normen

Max Zugkraft Kennwerte nach DVS 2205 nicht A 127

$$F \leq \pi/4 \cdot (DA^2 - DI^2) \cdot \sigma_t$$

F = max. Zugkraft

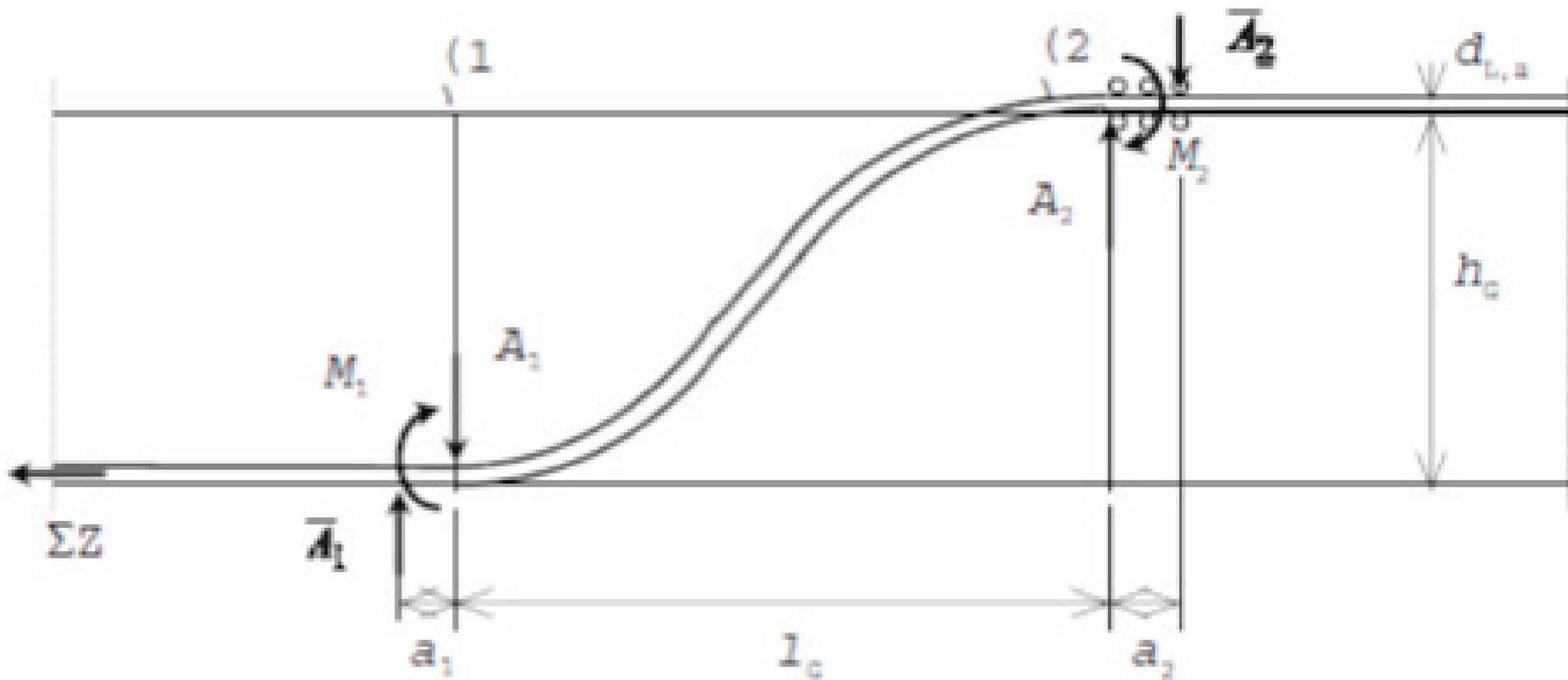
σ_t = zulässige Zugbeanspruchung

DA = Nennaußendurchmesser des Liners

DI = Nenninnendurchmesser des Liners

	Werkstoff	Zugbeanspruchung [MPa]
[N]	PE 80	8,0
[MPa]	PE 100	10,0
[mm]		
[mm]		

Einziehbaugrube Auflagerkräfte und Biegemomente



Druckstoßberechnung nach Joukowsky

$$P_{jouk} = a \cdot v_0 \cdot \rho \cdot 10^{-5}$$

mit: P_{jouk} : max. Druckstoß nach Joukowsky [bar]

a : Druckwellengeschwindigkeit [m/s]

ρ_M : Dichte des Mediums [kg/m³]

v_0 : Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

$$a = \sqrt{\frac{\frac{E_M}{P}}{1 + \frac{E_M \cdot d_m}{E_R \cdot s}}}$$

E_M : E-Modul des Mediums [N/mm²]

E_R : E-Modul des Rohrmaterials [N/mm²]

d_M : mittlerer Rohrdurchmesser [mm]

s : Rohrwanddicke [mm]

Druckstoßberechnung – Einfluss des Materials auf Druckstoßintensität –

v_0 [m/s]	PVC-U DN 200 PN 10 [bar]	PE-HD 225 x 20,5 PN 10 [bar]	GGG DN 200 K8 [bar]
0,5	1,45	0,61	5,99
1,0	2,9	1,22	11,98
1,5	4,36	1,83	17,98



**Dämpfung abhängig vom E-Modul
PE hat die größte Dämpfung**

Bemessung Druckrohre DWA – A 127

Kap 6.5 und 11.3:

- Superposition Innendruck/ Druckstoß (p_i) mit Erd - und Verkehrslasten (q_v) - E - Modul wird gewichtet
- $\sigma_{res} = \sigma(p_i) + \sigma(q_v)$, Rerounding als f (V_{RB}) möglich
- Drei Fälle werden unterschieden:
 - **1. Fall:** $\sigma_{bZ} \neq \sigma_Z$; Unterschiedliche Biege- und Zugfestigkeit jedoch gleiche Teilsicherheitsbeiwerte
 - **2. Fall:** $Y_{F,bZ} \neq Y_{F,Z}$; Unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte jedoch gleiche Biege- und Zugfestigkeit
 - **3. Fall:** \neq Unterschiedliche Biege- und Zugfestigkeit und Teilsicherheitsbeiwerte

Bemessung Druckrohre DWA A 143-2

Kap. 6.4.1.3 Berechnungsmodelle Innendruck

- **Lastfall I:**
Altrohr trägt mit, Überbrückung Löcher, Spalte – z. B. Bereich Muffe – durch Liner ist nachzuweisen
- **Lastfall II:**
Altrohr trägt nicht, siehe DWA - A 127

Hinweis für verklebte Liner:

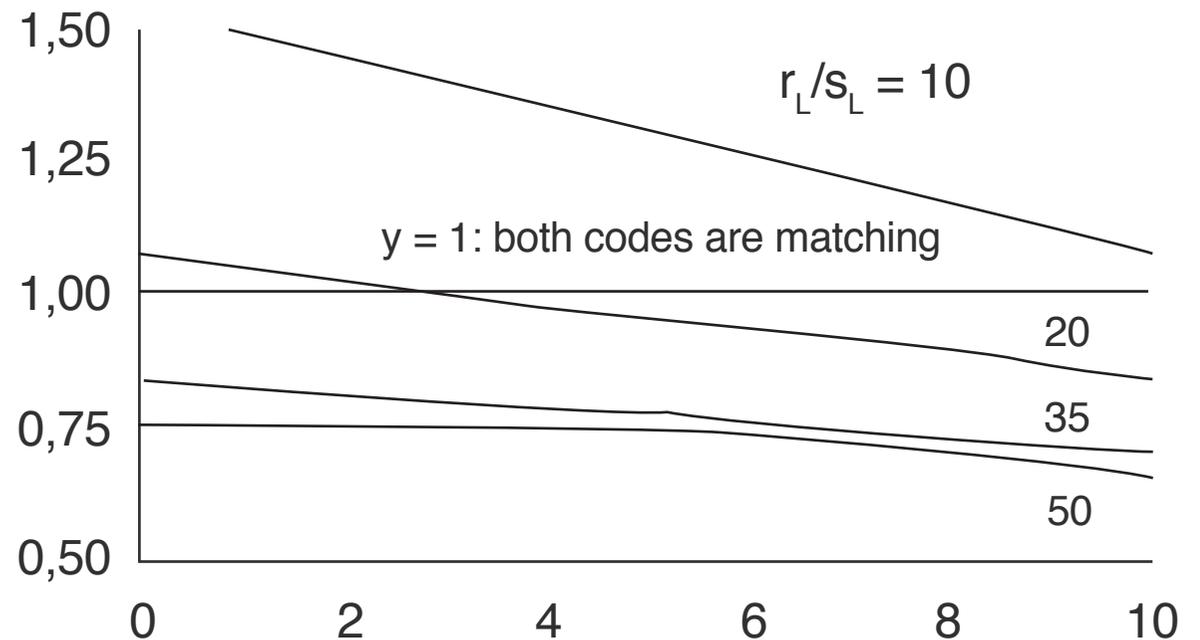
Gefahr einer Rissaufweitung gegeben, siehe nachfolgend als Lastfall III bezeichnet

Vergleich DWA 143-2 / F 1216-07b

Altrohrzustand ASTM F 1216-07b ATV 143-2	Schadensbilder	Einwirkungen von Außen	Einwirkungen von Innen	Lastfall I und II Zusätzlich Lastfall III bei verklebten Liner
Liner Klasse B und C Teilweise beschädigte Rohre Lastfall I	<ul style="list-style-type: none"> Leichte Wanddickenabtragung und kleine Löcher inf. Korrosion geringer Muffenspalt Längsrisse, geringe Rohrverformungen 	<ul style="list-style-type: none"> Wasseraußendruck (Ovalität) Imperfektionen (Ovalität örtliche Vorform Spaltbildung) 	<ul style="list-style-type: none"> Innendruck (Wandlochmodell, Muffenspalte) Negativdruck 	Biegezugbruch von verklebten Linern durch Haft- und Reibungsabtragung an der Verbundfläche zwischen Liner und Altrohr beim Ablösen der Ringzugkraft im Altrohr unter Innendruck
Liner Klasse A Vollständig beschädigte Rohre Lastfall II	<ul style="list-style-type: none"> starke Wanddickenabtragung und große Löcher inf. Korrosion großer Muffenspalt Längsrisse mit großen Rohrverformungen 	<ul style="list-style-type: none"> Grundwasser Negativdruck Erd- und Verkehrslasten Imperfektionen (siehe oben) 	<ul style="list-style-type: none"> Innendruck p_i (Kesselformel) Negativdruck 	
Bemessungsmethode		Analytisch nach ASTM F 1216-07b, ATV A 143-2	Analytisch nach ASTM F 1216-07b ATV A 143-2	FEM-LGA Kontinuumsmodell

Vergleich des Beulnachweises der beiden Regelwerke $y = \text{krit } p(\text{ASTM F1216}/\text{krit } p_a(\text{ATV-M127}))$

$$y = \frac{C \cdot 12 \cdot 1,75}{\kappa_{v,s} \cdot 2,62} \cdot (s_L / r_L)^{0.8}$$



Falter, Hildebrandt, Wolters: *Designing Liners for fully deteriorated Sewers, NoDig, Toronto 2009*

Interaktion der Spannungen bei Innendruck und Erd- und Verkehrslasten DWA A 127

- Fall1: Unterschiedliche Ringbiegezugfestigkeiten σ_{bZ} und Ringzugfestigkeit σ_Z jedoch gleiche Teilsicherheitsbeiwerte γ_F
- Nachweis der Einzelsicherheiten:
- $\frac{\max \sigma_{Z,d}}{\sigma_{Z,d}} \leq 1$ und $\frac{\max \sigma_{bZ,d}}{\sigma_{bZ,d}} \leq 1$
- Interaktion:
- $\frac{\max \sigma_{Z,d}}{\sigma_{Z,d}} + \frac{\max \sigma_{bZ,d}}{\sigma_{bZ,d}} \leq 1$

Interaktion der Spannungen bei Innendruck und Erd- und Verkehrslasten DWA A 127

- **Fall 2:** Unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{F,bZ}$ und $\gamma_{F,Z}$ jedoch gleiche Ringzugfestigkeit $\sigma_{bZ} = \sigma_Z$

- Interaktion:

- $$\frac{\max \sigma_{Z,d}}{\sigma_{Z,d}} + \frac{\max \sigma_{bZ,d}}{\sigma_{bZ,d}} \frac{\gamma_{F,bZ}}{\gamma_{F,Z}} \leq 1$$

- **Fall 3:** Unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{F,bZ}$ und $\gamma_{F,Z}$ und unterschiedliche Ringzugfestigkeit $\sigma_{bZ} \neq \sigma_Z$

- Interaktion:

- $$\frac{\max \sigma_{Z,d}}{\sigma_{Z,d}} + \frac{\max \sigma_{bZ,d}}{\psi \cdot \sigma_{bZ,d}} \frac{\sigma_Z}{\sigma_{bZ}} \leq 1 \quad \text{mit Kombinationsbeiwert } \psi = 0,7$$

Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen nach DWA A 143-2

Einwirkung	γ_F
Ständige Lasten (G) (Erdlasten, Eigenlast, ggf. Oberflächenlast, konzentrierte Flächenlast)	1,35
Veränderliche Lasten (Q) (Verkehrslasten außer Straßenverkehrslasten, Grundwasser usw.)	1,50
Straßenverkehrslasten	1,35
Kurzzeitiges Hochwasser	1,10 ¹⁾
Innendruck (inkl. Druckstoß)	1,50
Prüfdruck	1,20
Temperaturänderungen	1,10
Zwangsverformungen	1,10

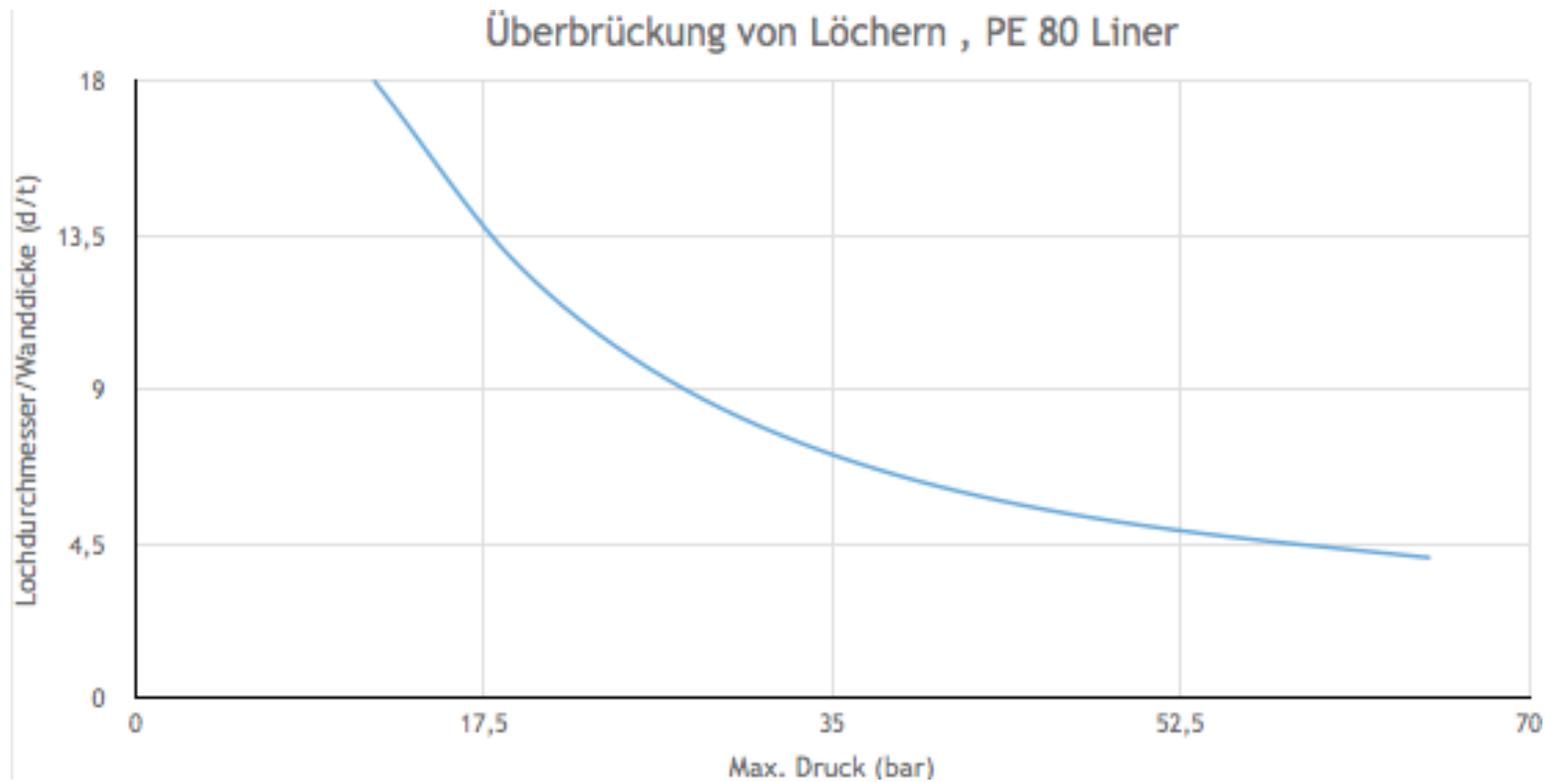
ANMERKUNGEN

1) Gilt nur bei Ansatz des Langzeit-E-Moduls, vergleiche Abschnitt 6.4.2.1.

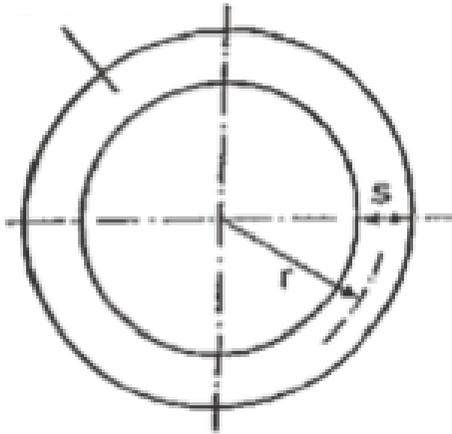
Teilsicherheitswerte der Widerstände (Werkstoff) nach DWA A 143-2

Rohrwerkstoff	γ_M
Kunststoffliner, im Kanal ausgehärtet	1,35
Kunststoffliner, im Werk gefertigt (Extrusion und andere Verfahren)	1,25
Mörtelliner (bei Berücksichtigung von evtl. Kerbwirkungen in der Werkstoffprüfung)	1,50
Nichtrostender Stahl	1,15
Widerstand, günstig wirkend (z. B. Zwangsverformung des Liners bei Altrohrzustand III)	1,0
Altrohre aus Beton und Steinzeug für Nachweise der Altrohrdruckzonen nach Gl. (6.27)	1,50

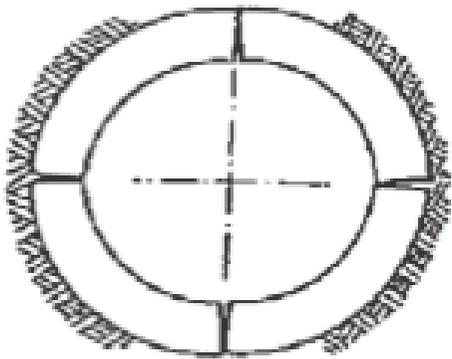
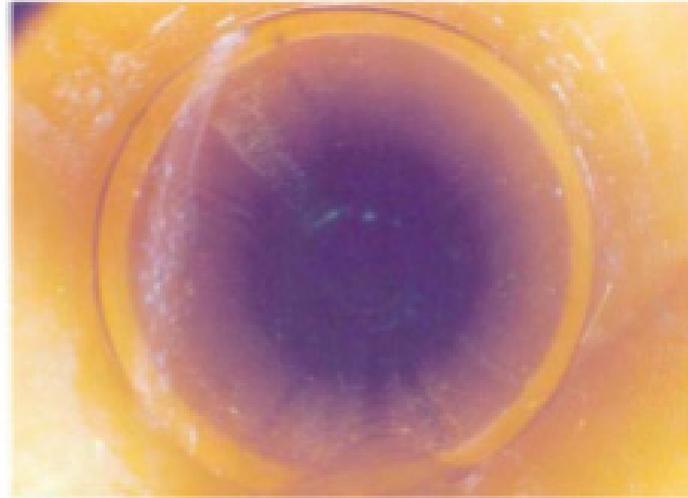
Überbrückung von Löchern, PE 80 Liner



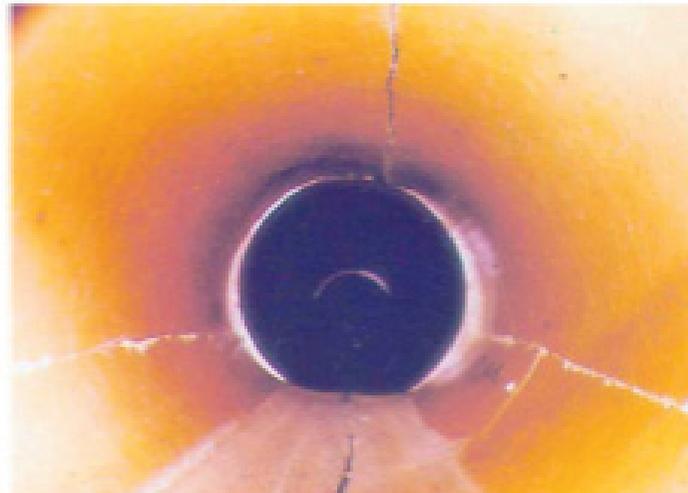
Quelle: Wavin, Rohrsanierungssysteme

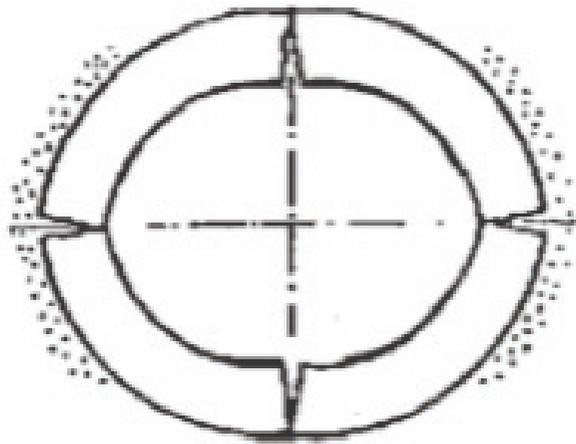


Altrohrzustand I

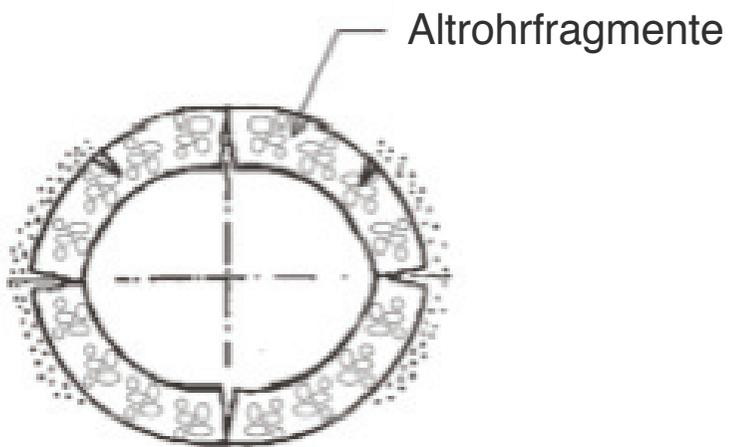


Altrohrzustand II

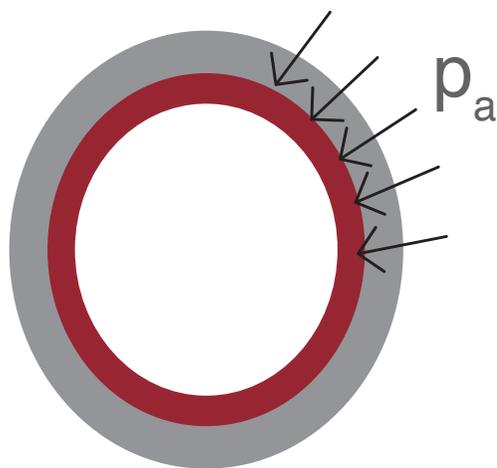




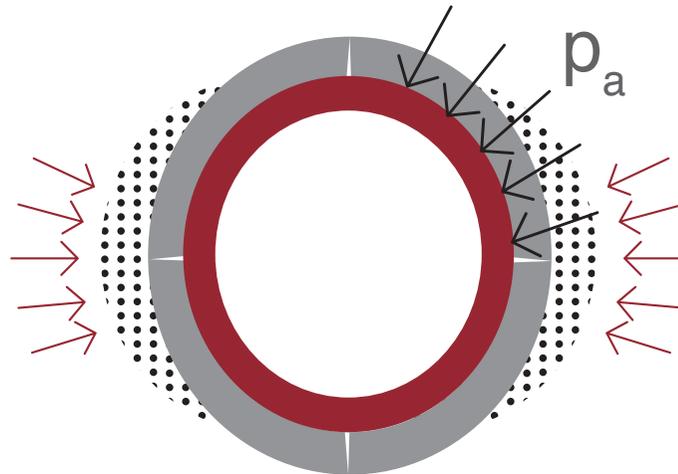
Altrohrzustand III



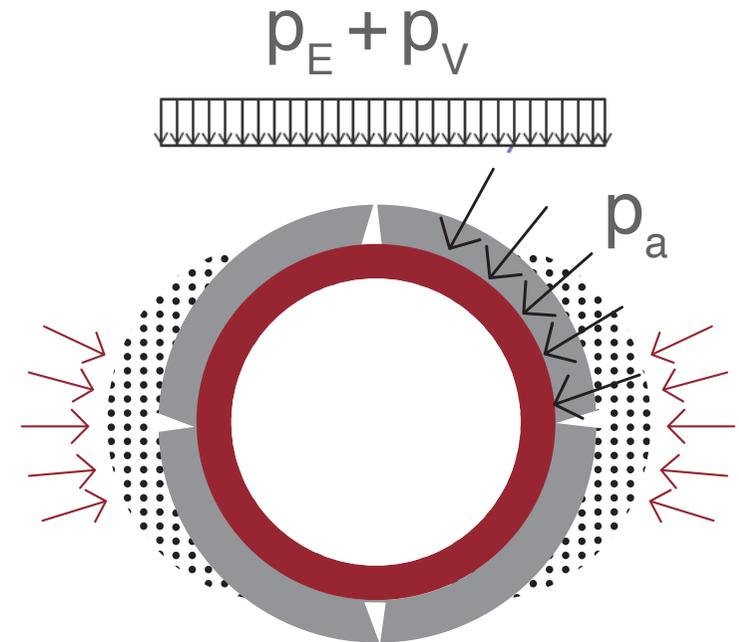
Altrohrzustände gemäß ATV 143 -2



Altrohrzustand I:
Das Altrohr ist voll tragfähig.



Altrohrzustand II:
Das Altrohr ist gerissen,
das Altrohr-Bodensystem
jedoch voll tragfähig.



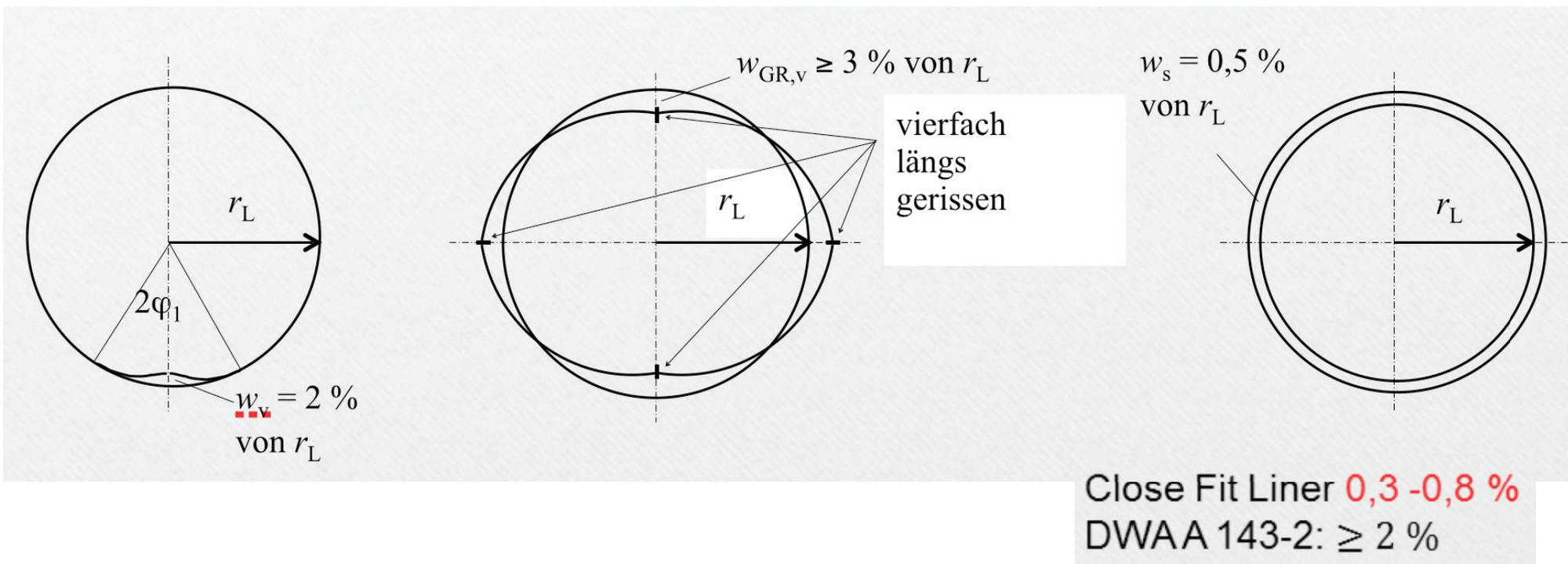
Altrohrzustand III :
Das Altrohr-Bodensystem weist
keine ausreichende Standsicher-
heit auf. Es sind deutliche De-
formationen eingetreten

Imperfektionen nach DWA A 143-2

a) örtliche Vorverformung w_v
nur DWA A 143-2

b) Gelenkringvorverformung $w_{GR,v}$
Ovalisierung, auch bei ASTM
F1216

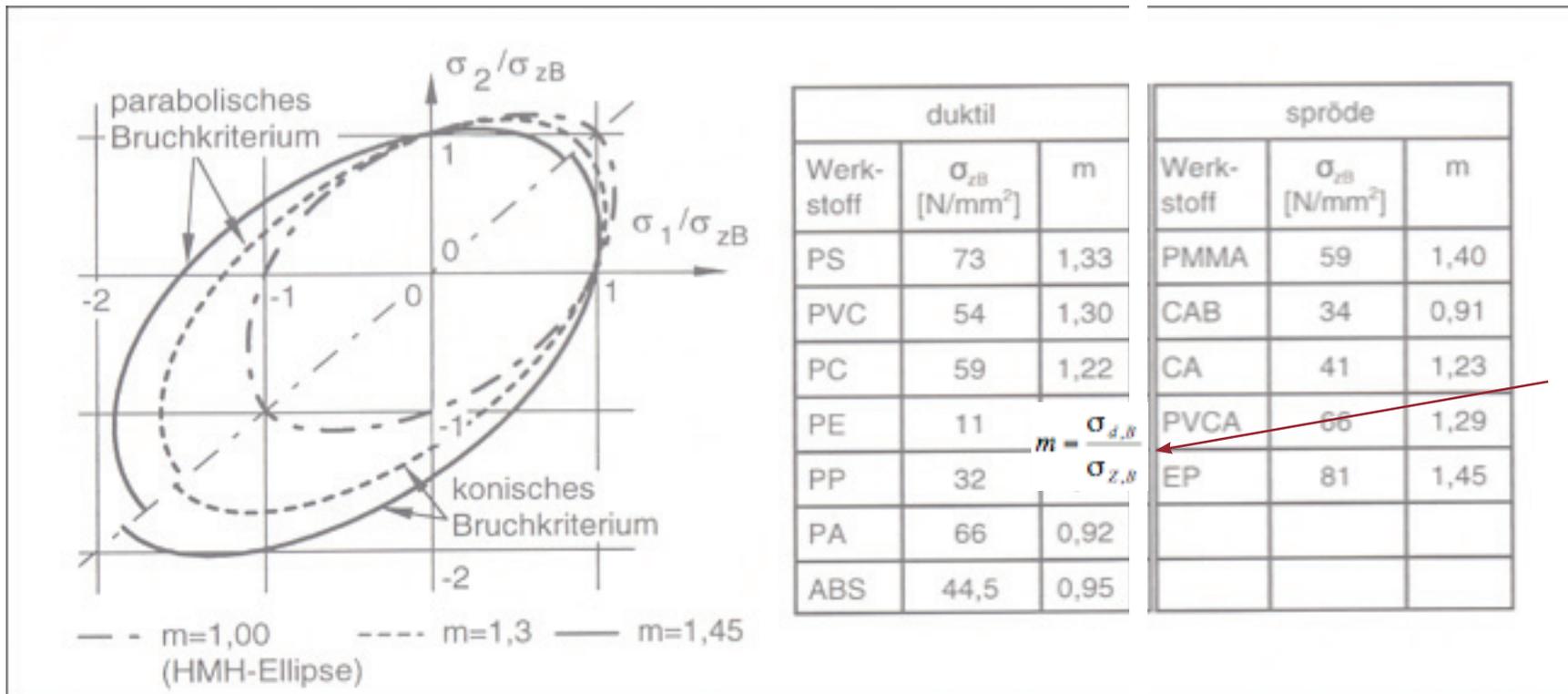
c) Spaltbildung w_s
nur DWA A 143-2



Bruchmechanismen von verklebten Linern – Materialkennwerte-

Material	E (kurz/lang) [MPa]	σ_{bz} (kurz/lang) / σ_z [MPa]	ϵ_{grenz} [%]
PE-100	800/160	21/14/10	3,0 -5,0
PP-B und PP-H	1250/312	39/17/9,8	2,0
PVC-U	3000/1500	90/50/25	0,8
Synthesefaser	3675/1400	23/20	1,0
Beton	30000	3 - 8	0,015
Duktiles Gusseisen	170000	420	0,250
Steinzeug	50000	20	0,040
Stahl	210000	336	0,200

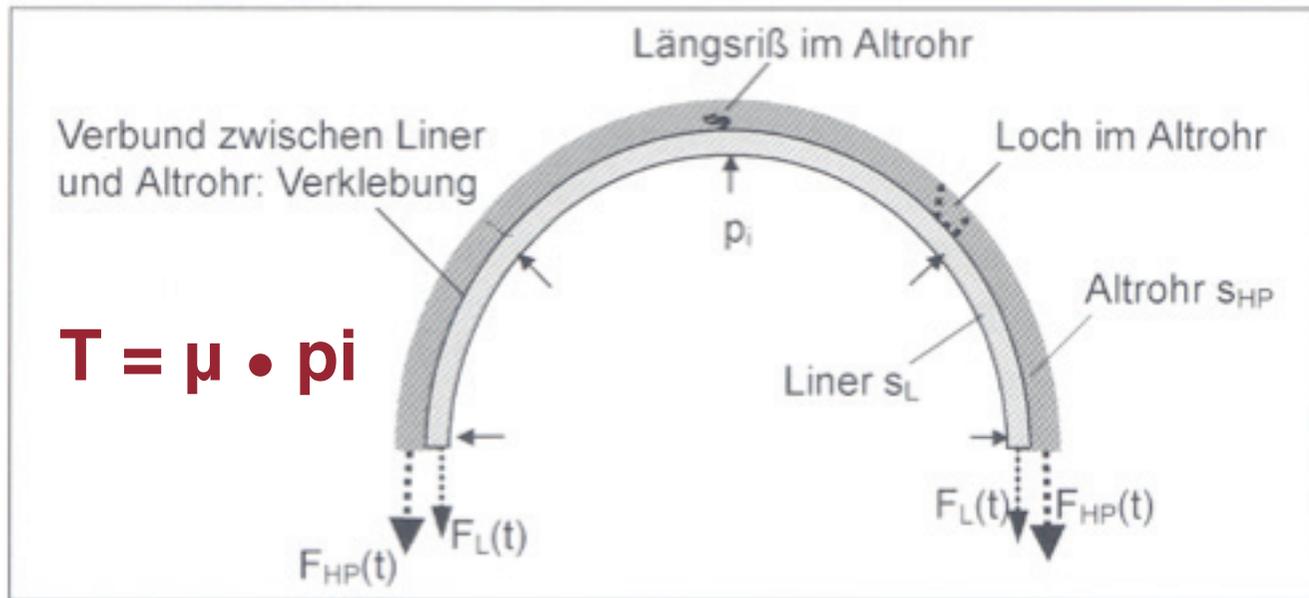
Stoffgesetz für Kunststoffe (Thermoplaste)



Vergleichsspannung konisches Bruchkriterium:

$$\sigma_{v,kon} = \frac{m-1}{2 \cdot m} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \pm \frac{1+m}{2\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2}$$

Bruchmechanismen von verklebten Linern – Ringzugkräfte –

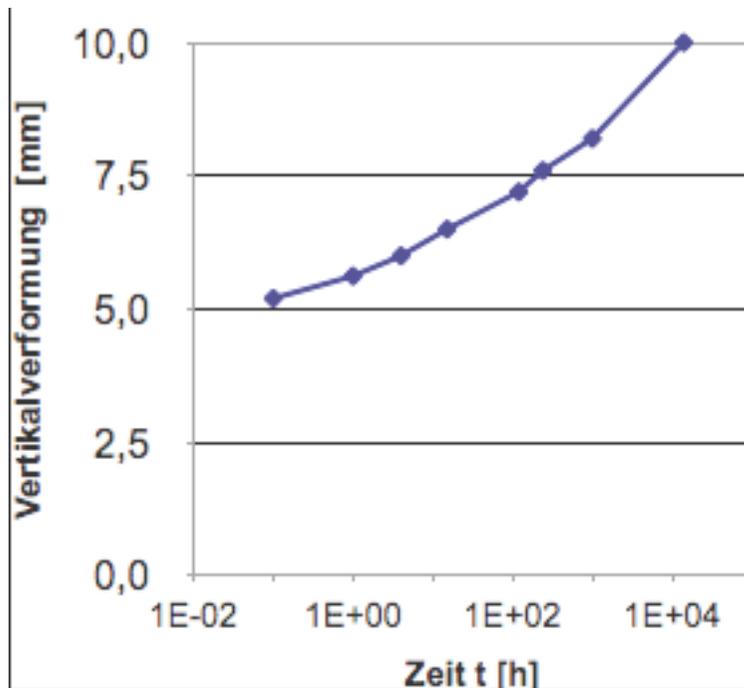


$$N = r \cdot p_i \Rightarrow F_{HP}(t) + F_L(t) = (D_i / 2 - s_L) \cdot p_i$$

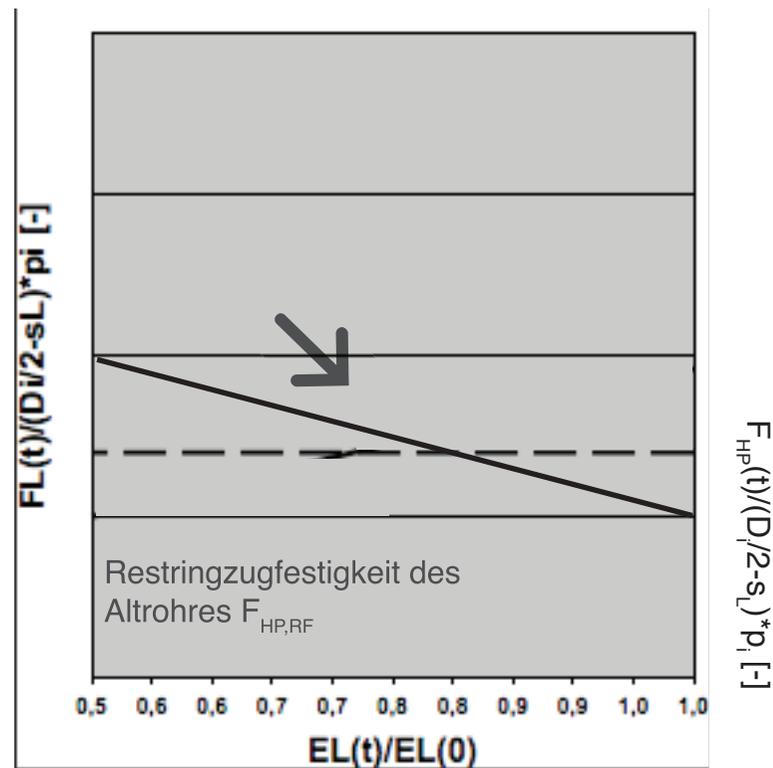
D_i : Innen- bzw. Nenndurchmesser des Altrohres

s_L : Wanddicke des Liners

Bruchmechanismen von verklebten Linern – Materialverhalten –

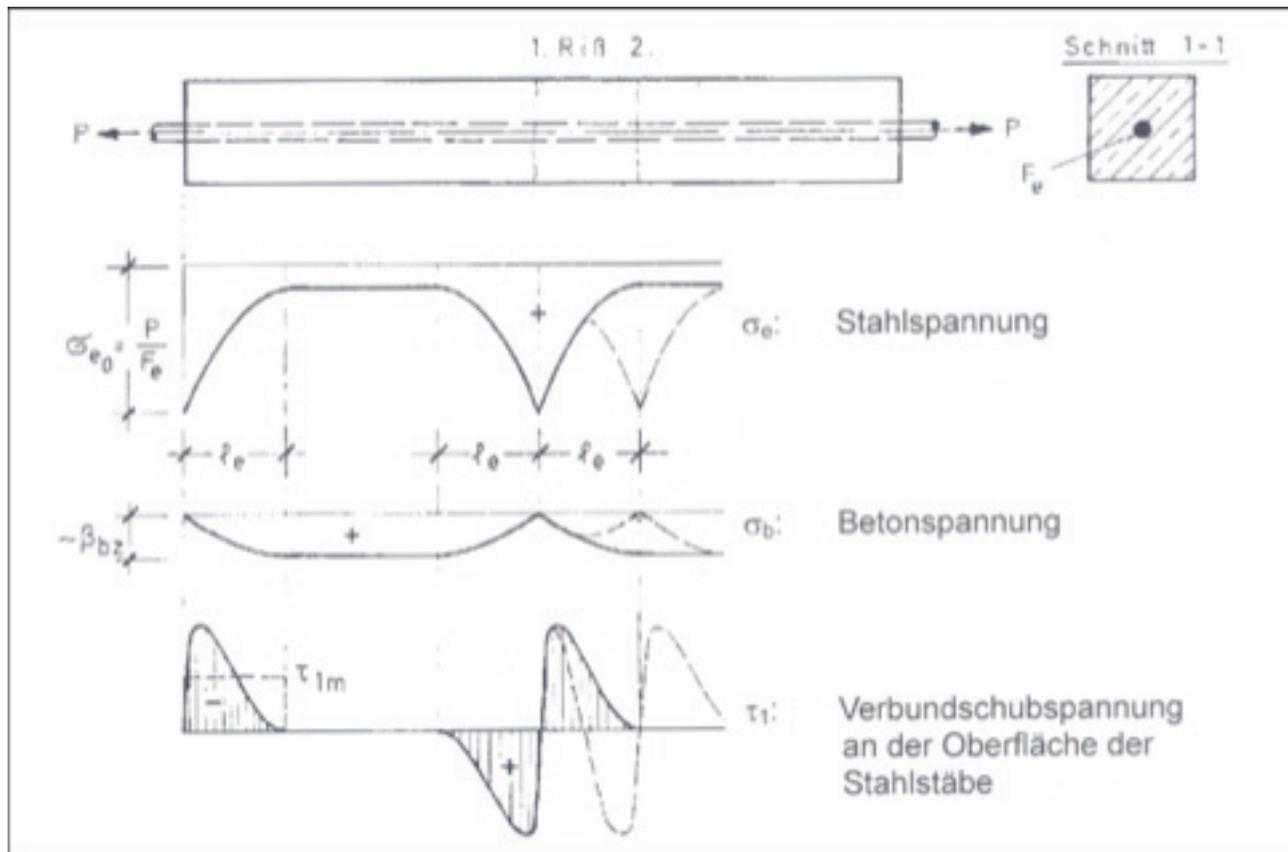


Langzeitscheiteldruckversuch
Synthesefaser-Liner

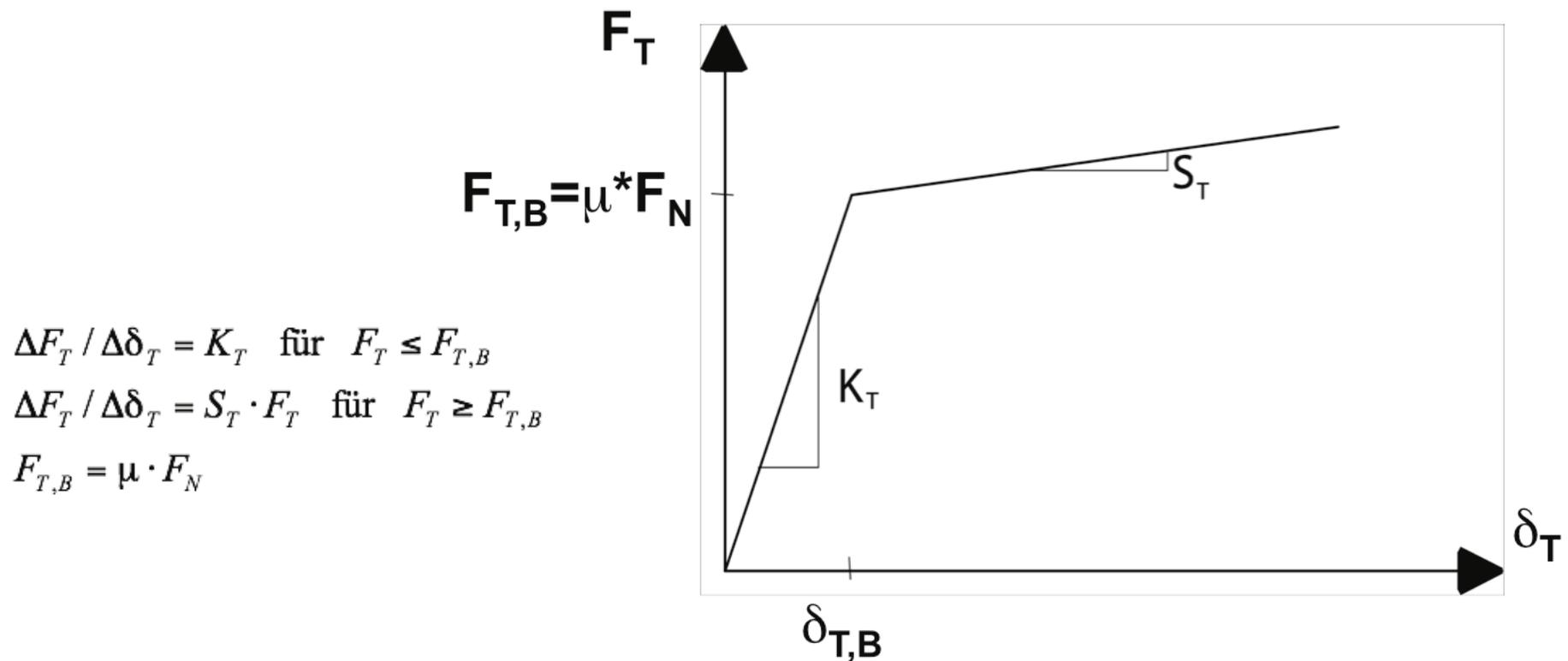


Ringzugkräfte in Liner und Altrohr

Bruchmechanismen von verklebten Linern – Spannungsverlauf im Rissbereich –

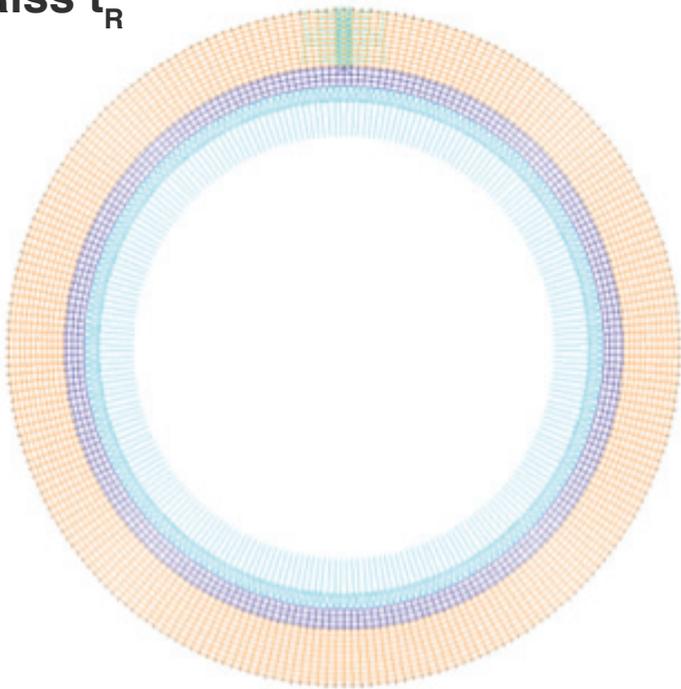


Mechanische Modellvorstellung und Bemessungsansatz für Lastfall III – Schubmodell für Verbundverhalten –



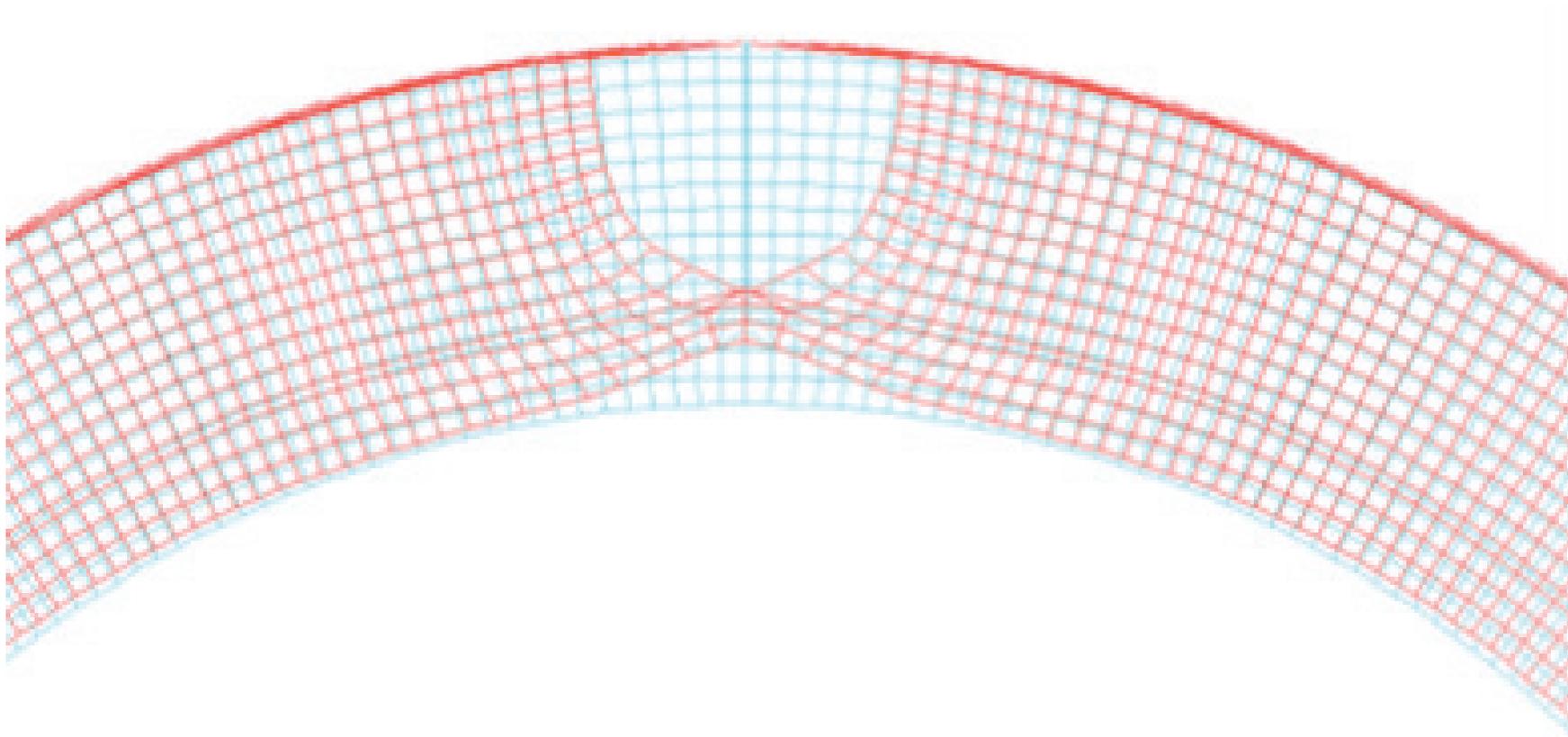
Rechenbeispiel für den Lastfall III – Modell und Eingangsparameter –

Riss t_R

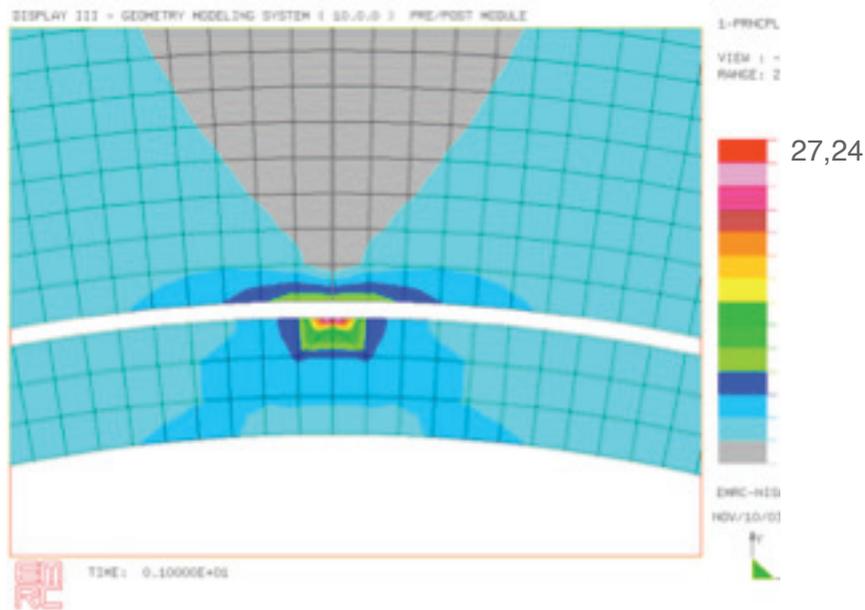


Altrohr aus Asbestzement:	$s_{HP} = 19,3 \text{ mm}$ $E_{HP} = 33400 \text{ N/mm}^2$
Liner:	$s_L = 6,3/8,2/10,1/12,0 \text{ mm}$ $E_L(0) = 845 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{BZ}(0) = 36 \text{ N/mm}^2$ $E_L(50) = 423 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{BZ}(50) = 18 \text{ N/mm}^2$
Verbundverhalten:	$\mu = 0,01 \text{ bis } 1,0$ $K_T = 5000 \text{ N/mm}$ bei $\mu = 0,5$
Rissbreite:	$t_{HP} = 0,1 \text{ mm}$

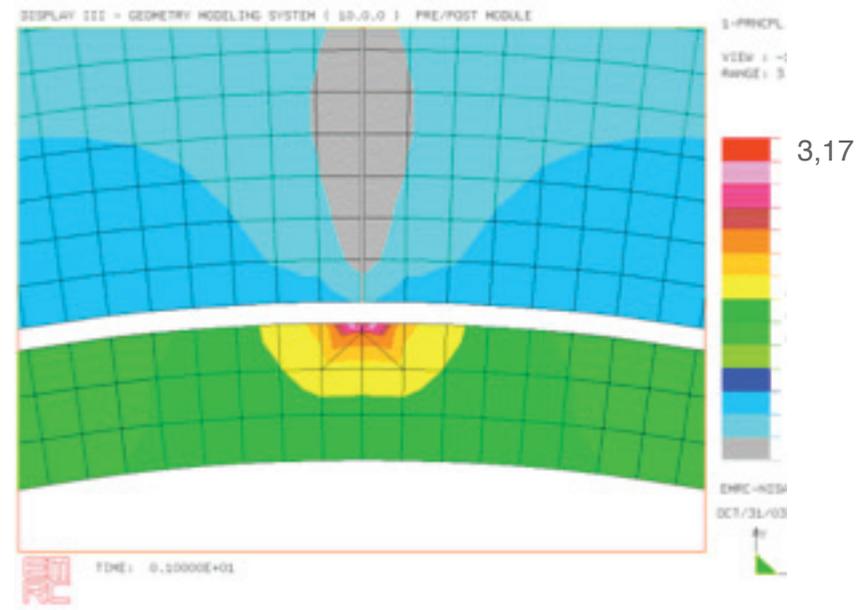
Rechenbeispiel für den Lastfall III – Verformungen –



Ergebnisse der Biegezugspannungen in Abhängigkeit der Reibung

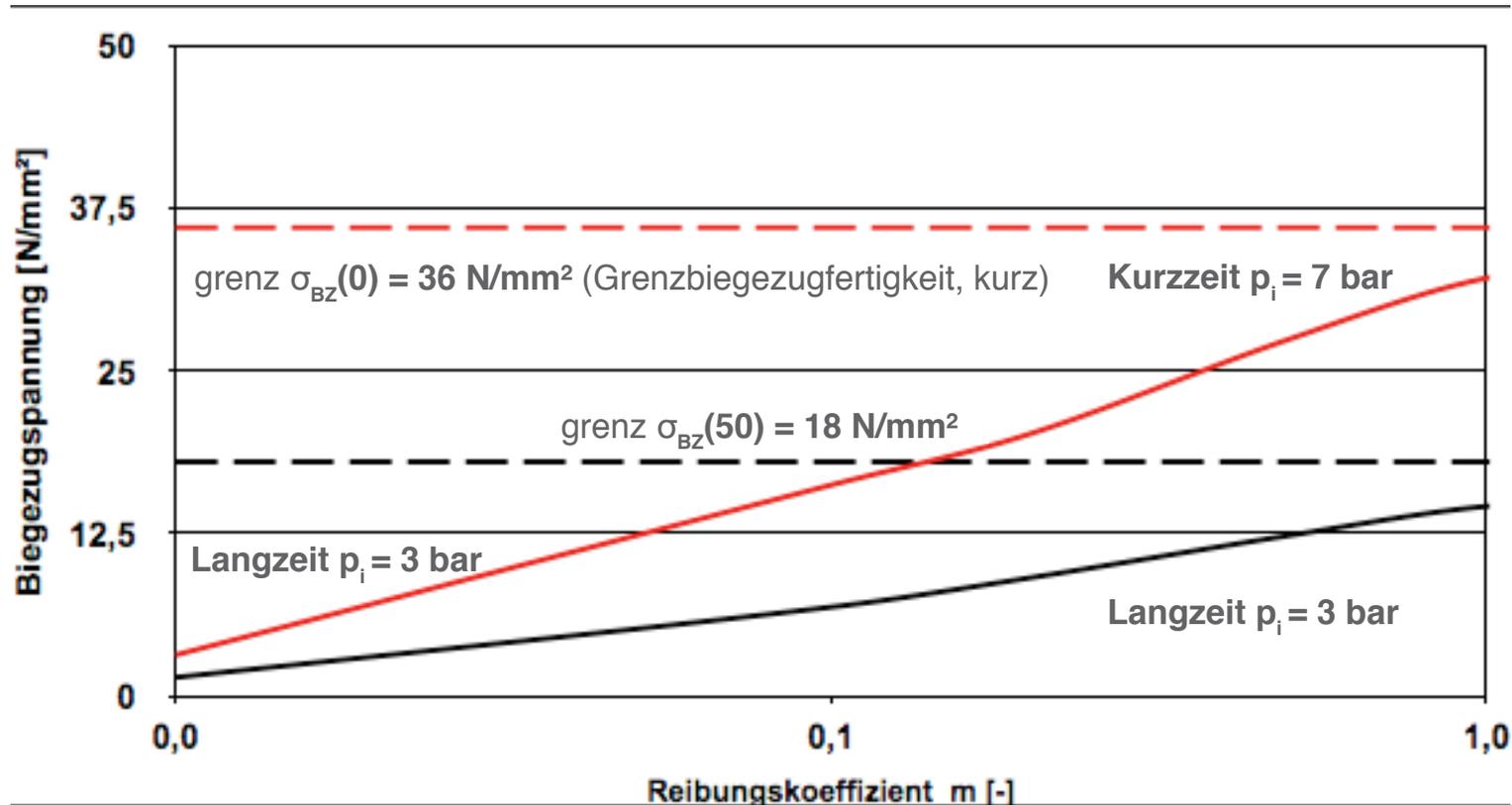


$\mu = 0,5$

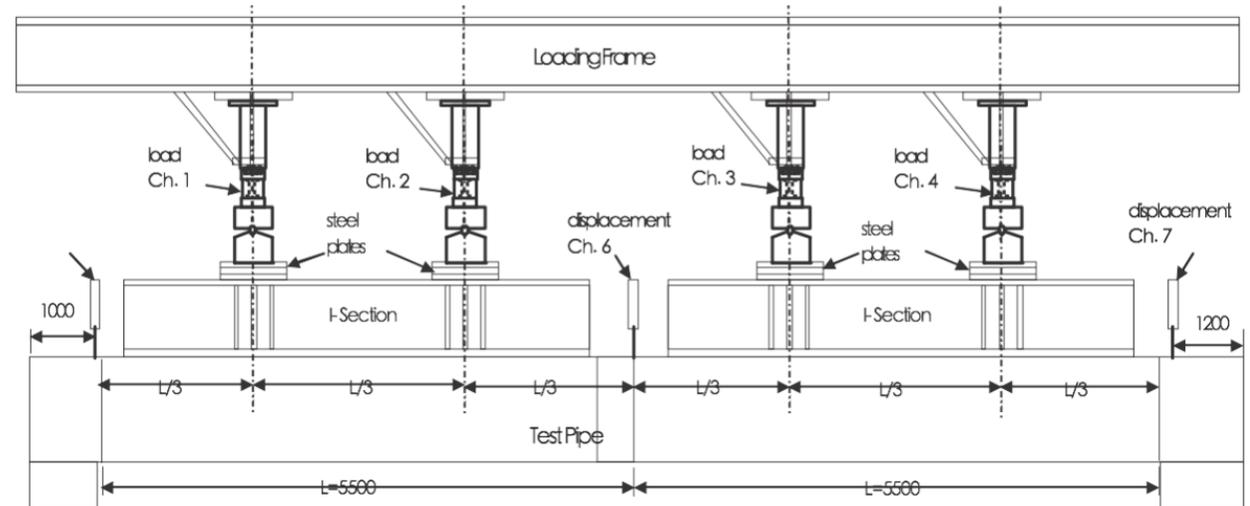


$\mu = 0,01$

Ergebnisse der Parameterstudie – Variation Reibungskoeffizient –



Berstversuche mit Drucklinern



Materialien:

$E_k=3300 \text{ MPa}$

$\sigma_z=212,65 \text{ MPa}$

und

$E_k=800 \text{ MPa}$

$\sigma_z=21 \text{ MPa}$

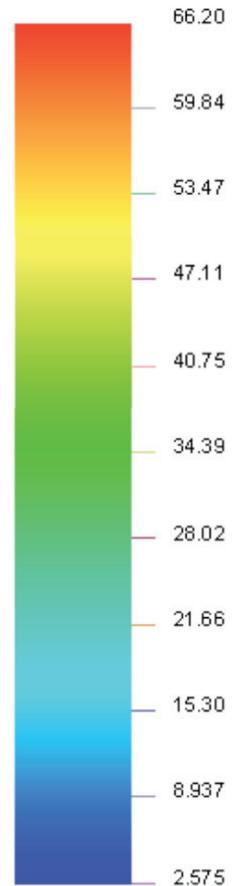
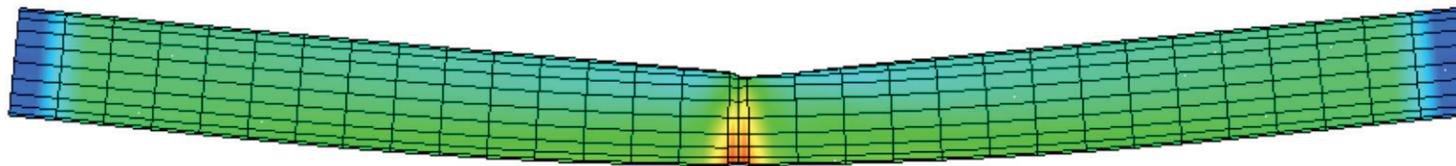
Berstversuche mit Drucklinern – Biegezugspannungen PVC –

1-PRNCPL.,STRESS

VIEW: 2.574999

RANGE: 66.19861

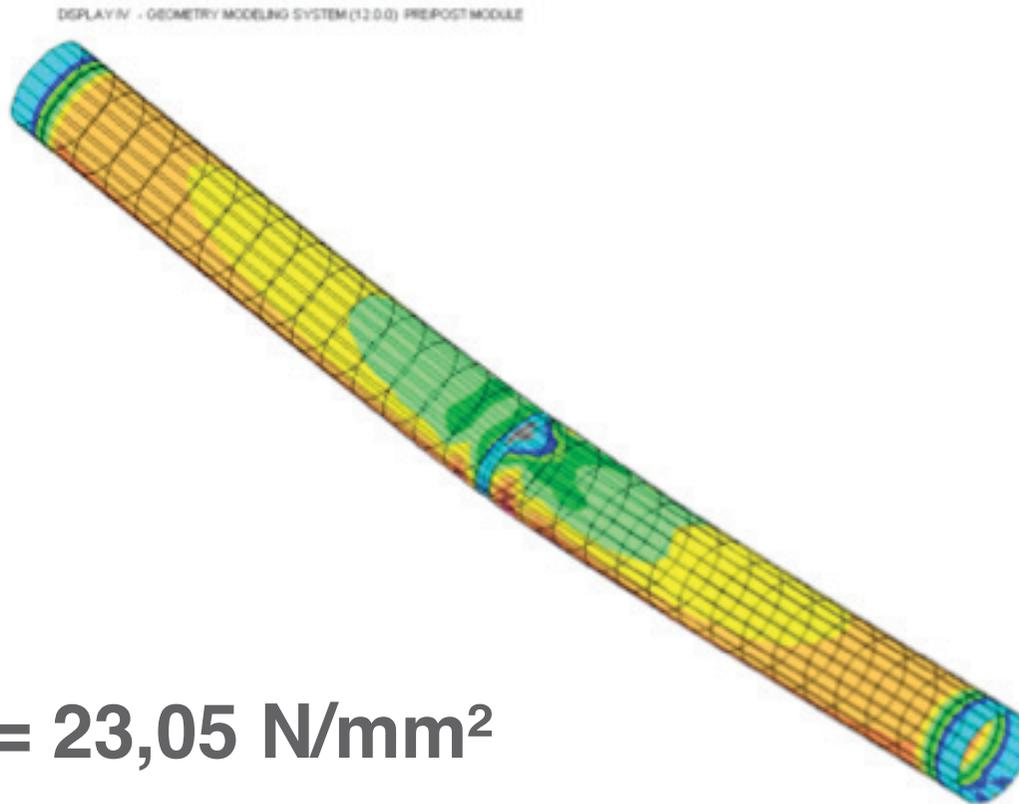
DISPLAY IV - GEOMETRY MODELING SYSTEM (12.0.0) PRE/POST MODULE



EMRC-NISA / DISPLAY
JUL/5/2005 16:36:52

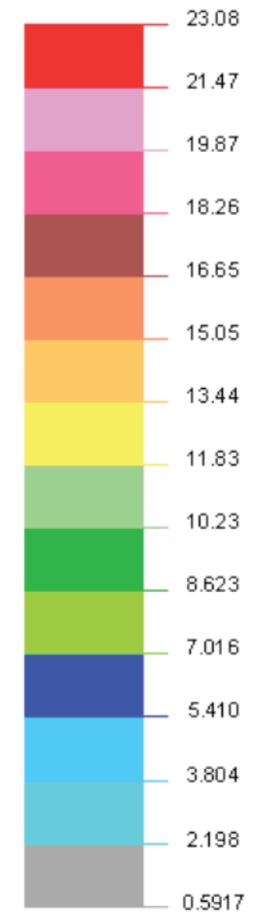
$$\sigma_{\max} = 66,2 \text{ N/mm}^2$$

Berstversuche mit Drucklinern – Biegezugspannungen PEHD –



1-PRINCPL. STRESS

VIEW: 0.5917343
RANGE: 23.0781



EMRC-NISA / DISPLAY
JUL/5/2005 17:4:57

$$\sigma_{\max} = 23,05 \text{ N/mm}^2$$

Zusammenfassung und Ausblick

- **Lastfälle I und II** sind in **ATV 143-2** und **ASTM F 1216-07b** geregelt.
- **Lastfall III (Versagensmodell Biegezugbruch durch Haft- und Reibungsabtrag)** wurde für einen verklebten Liner und AZ II mit Rechenbeispiel und Parameterstudie vorgestellt.
- Maßgebender Parameter für die Größe der Biegezugspannungen im verklebten Liner ist der **Reibungskoeffizient μ sowie K_T** .
- Höhere Tragfähigkeit (Sicherheit) wird durch Abminderung des Reibungskoeffizienten erreicht, konstruktiv also z. B. durch **Verlegen einer Folie oder elastischer Harze zwischen Liner und Altrohr**.
- Wünschenswert wäre ein eigenständiges **DWA A Regelwerk für Druckliner**.
- Erstellung eines **Rechenprogrammes** für Liner in Druckrohren unter Einbeziehung der DWA A 143-2 und der ASTM F 1216-07b

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

