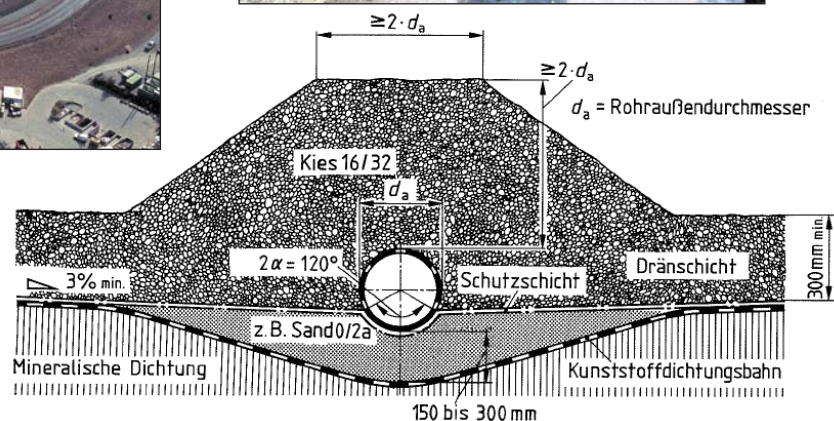


- I. Anforderungen an PE-Rohre für den Deponiebau
- II. Schadensfälle an Dränrohren in Deponien
- III. Versuchsmaterialien
- IV. Untersuchungsprogramm
  - i. Full-Notch-Creep-Test (FNCT)
  - ii. Strain Hardening Test
  - iii. Hochdruck-Autoklavenversuche
- V. Zusammenfassung und Ausblick

## Dränrohre in Deponien



DIN 19667



## Nachweis einer Nutzungsdauer von mind. 100 Jahren

### 1. Statische Bemessung (ATV M 127 / DWA A 127)

- Festigkeitsnachweis
- Verformungsnachweis

### 2. Oxidationsbeständigkeit

- $OIT_{200^{\circ}C} > 30 \text{ min}$  (DIBt)

### 3. Spannungsrissbeständigkeit

DIBt:

- für PE 80:  $t_{FNCT} \geq 100 \text{ h}$
- für PE 100:  $t_{FNCT} \geq 300 \text{ h}$

SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie:

$$t_{FNCT} \geq 1600 \text{ h}$$

(für Deponiebasis)

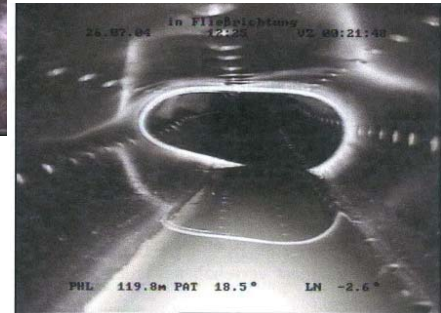
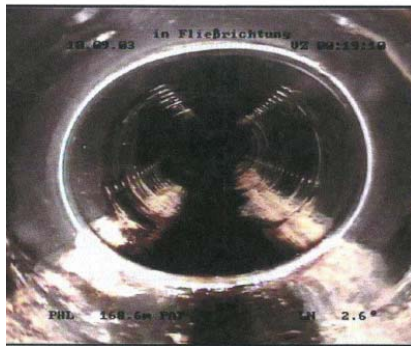


## Lebensdauer von Kunststoffbauteilen



**Lebensdauer** ist begrenzt durch Bruchversagen oder unzulässige Verformung

## Verformungen von PE-Leitungen in Deponien



extreme **Verformungen** aber keine Risse

Quelle: Edenberger, W. (2010). Rissbildung in PE-Leitungen. Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 17-24.

## Risse in PE-Leitungen mit Schlitzten und Löchern



Dränschlitz



Dränloch



Dränloch

Quelle: Edenberger, W. (2010). Rissbildung in PE-Leitungen. Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 17-24.



## Scherbenbildung in PE-Leitungen



Quelle: Edenberger, W. (2010). Rissbildung in PE-Leitungen. Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 17-24.

## Rissbildung in PE-Rohren ohne Lochung bzw. Schlitzung



Quelle: Edenberger, W. (2010). Rissbildung in PE-Leitungen. Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 17-24.

# Offener Riss in der Sohle eines PE-Rohrs



Laut Edenberger (2010) sind in Deutschland **15 Deponien mit Rissbildung** in PE-Leitungen bekannt.

Quelle: Maier, P. (2010): Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE – Problemschilderung am Beispiel der Deponie „Burghof“. Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 1-10.

## Versuchsmaterialien



Material	Geometrie	Außen-durchmesser	Wanddicke	Alter	Anmerkung
<b>A</b>	Vollwandrohr	280 mm	28 mm	ca. 20 Jahre	Riss in Sohle, ca. 5 % verformt, Dauertemperatur 50 - 60 °C
<b>B</b>	Dränrohr geschlitzt	250 mm	25 mm	20 - 25 Jahre	stark verformt durch ca. 20 m Müllhöhe
<b>C<sub>1</sub></b>	T-Rohrstück	90 mm	12 mm	ca. 15 Jahre	unbeschädigt
<b>C<sub>2</sub></b>	angeschweißtes Rohrstück		9 mm		
<b>D</b>	Vollwandrohr	110 mm	10 mm	neu	PE 80
<b>E</b>	Vollwandrohr	110 mm	10 mm	neu	PE 100

## Vollwandrohr (Material A)



$d_A = 280 \text{ mm}$ , ca. 20 Jahre alt, **Riss in Sohle**

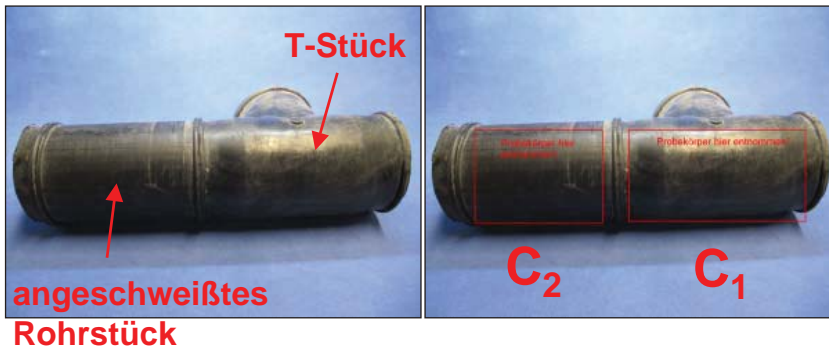
## Dränrohr, geschlitzt (Material B)



$d_A = 250 \text{ mm}$ , 20-25 Jahre alt

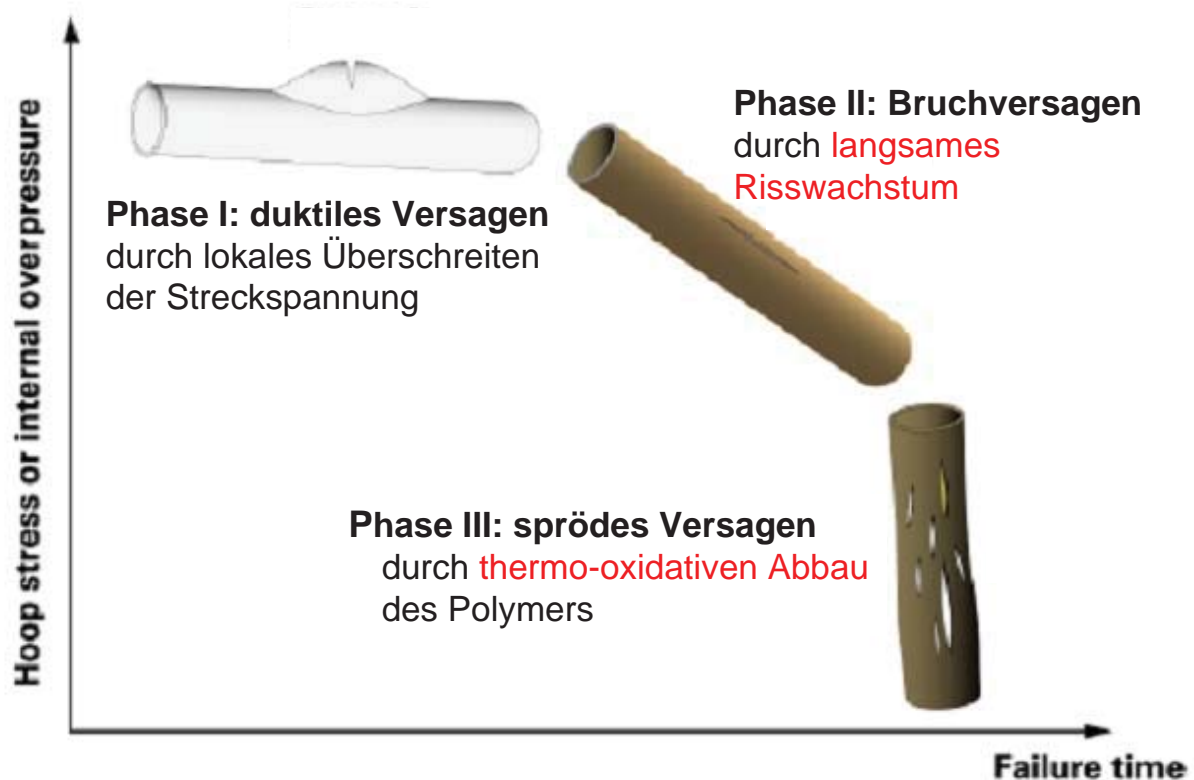


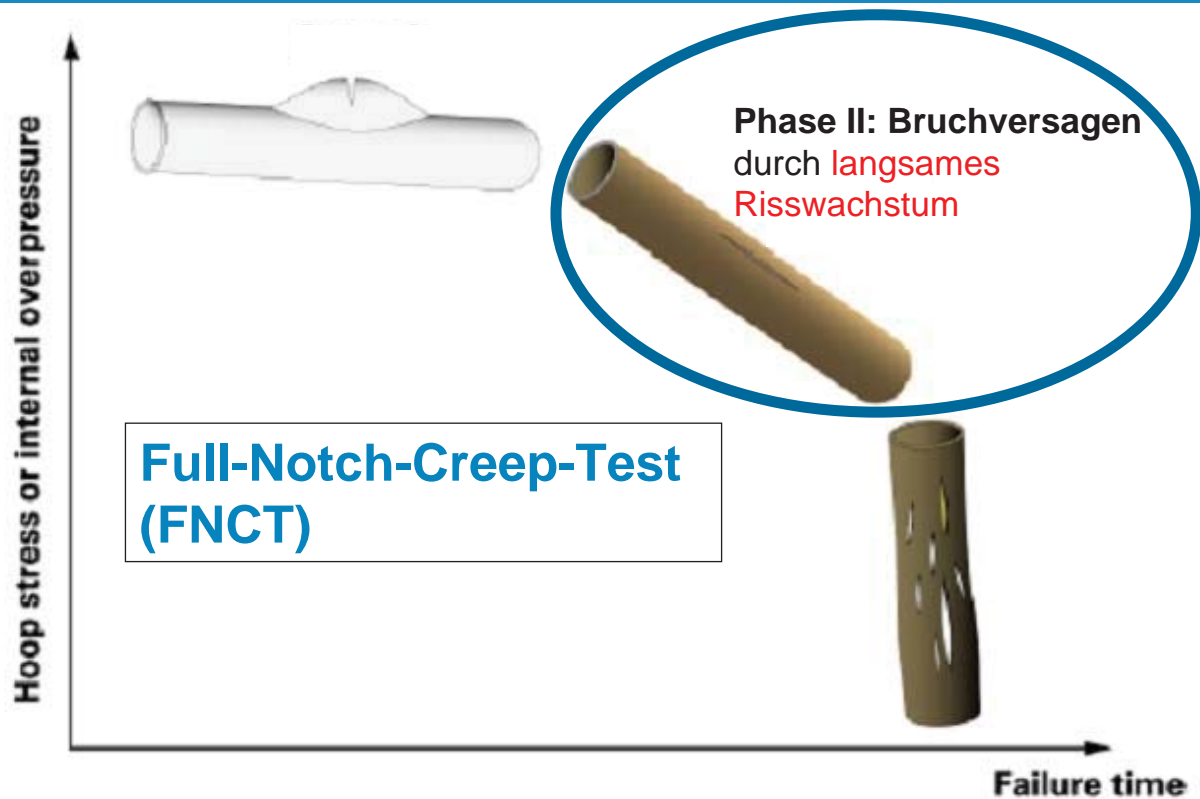
## Vollwandrohr mit T-Stück (Material C)



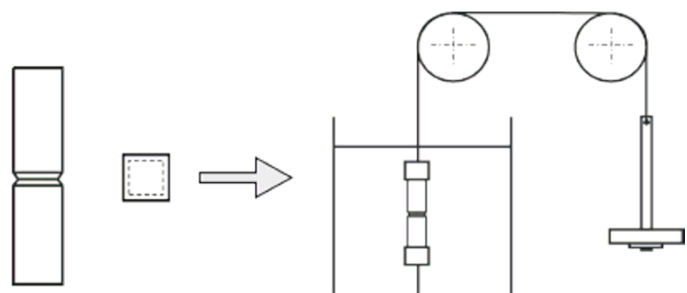
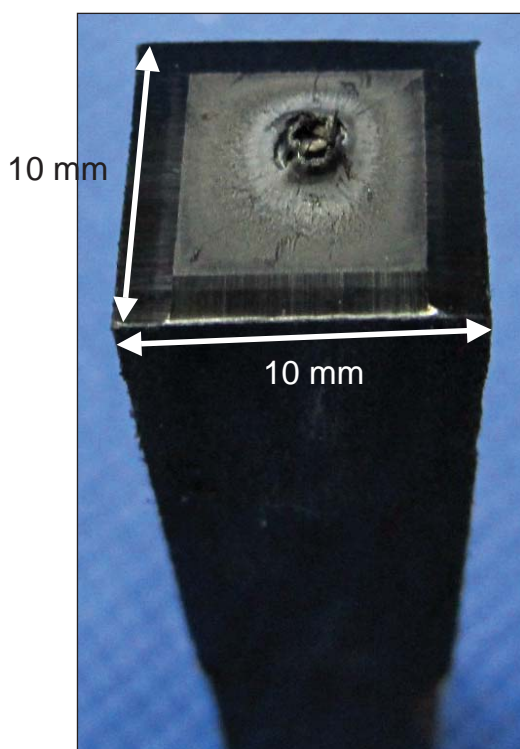
$d_A = 90 \text{ mm}$ ,  
ca. 15 Jahre alt

## Zeitstandverhalten von Kunststoffrohren





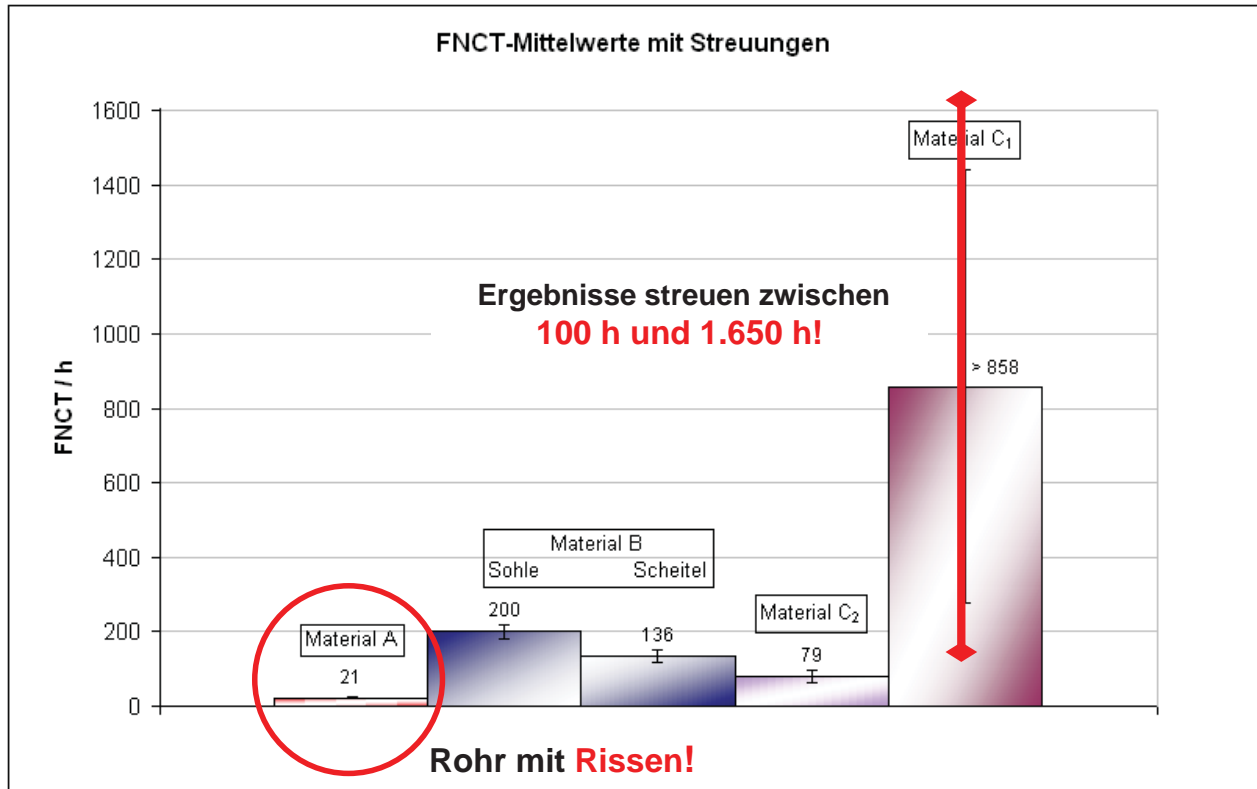
## Full-Notch-Creep-Test (FNCT) ISO 16770, DIN EN 12814-3



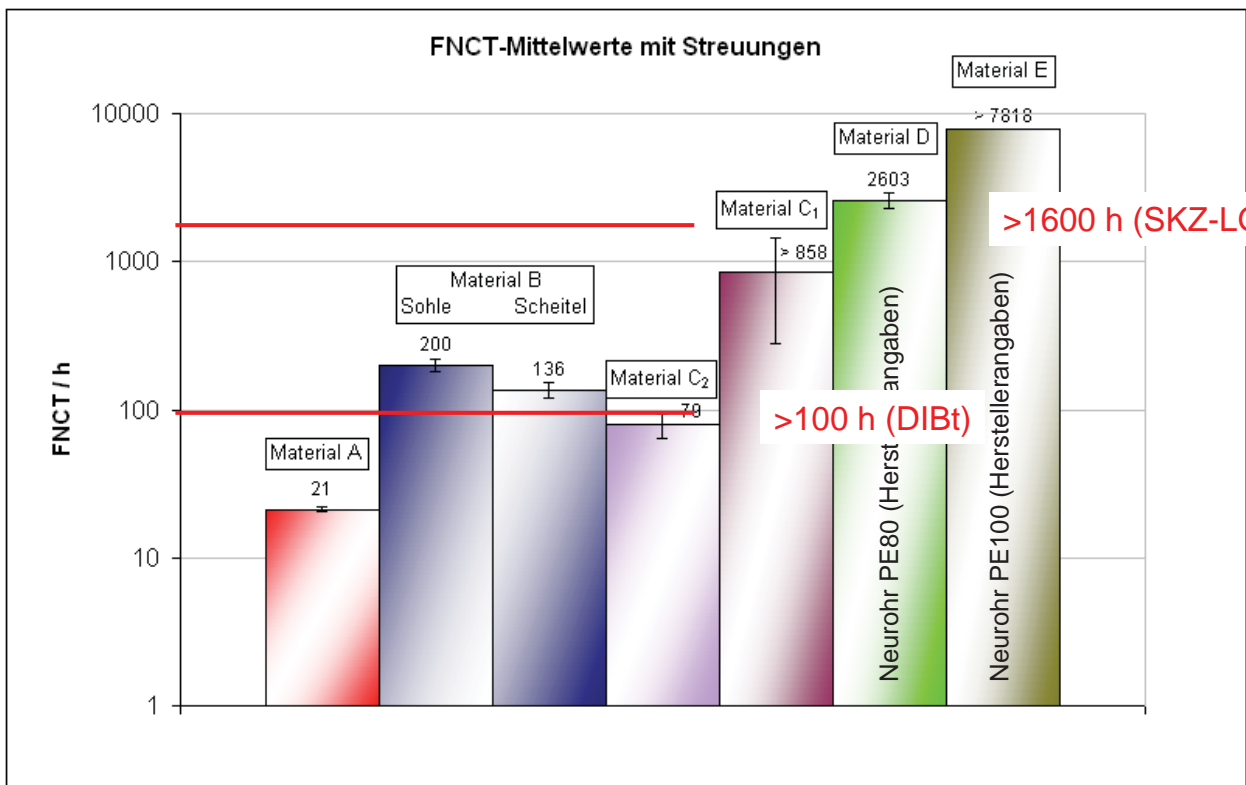
Zeitstandprüfung einer vierseitig gekerbten Rechteckprobe mit 4 MPa bei 80°C in 2%-iger Netzmittellösung



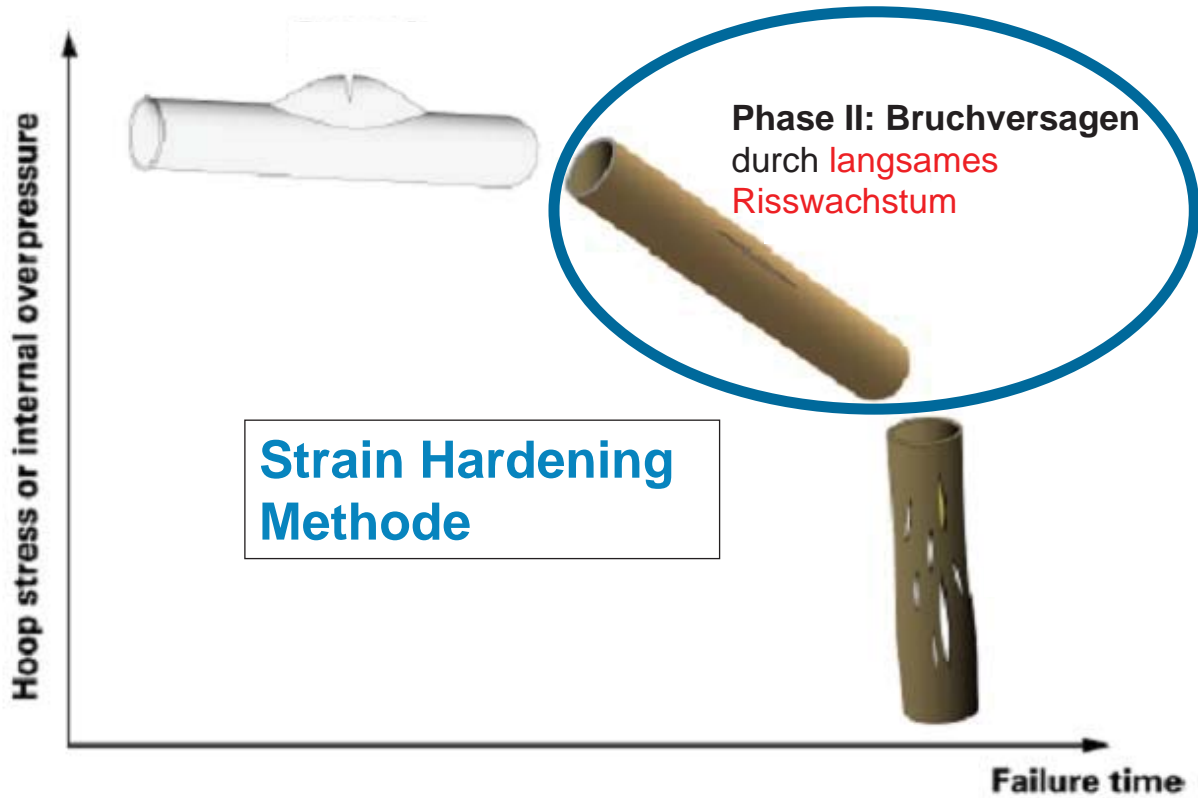
# FNCT-Zeiten der Deponierohre



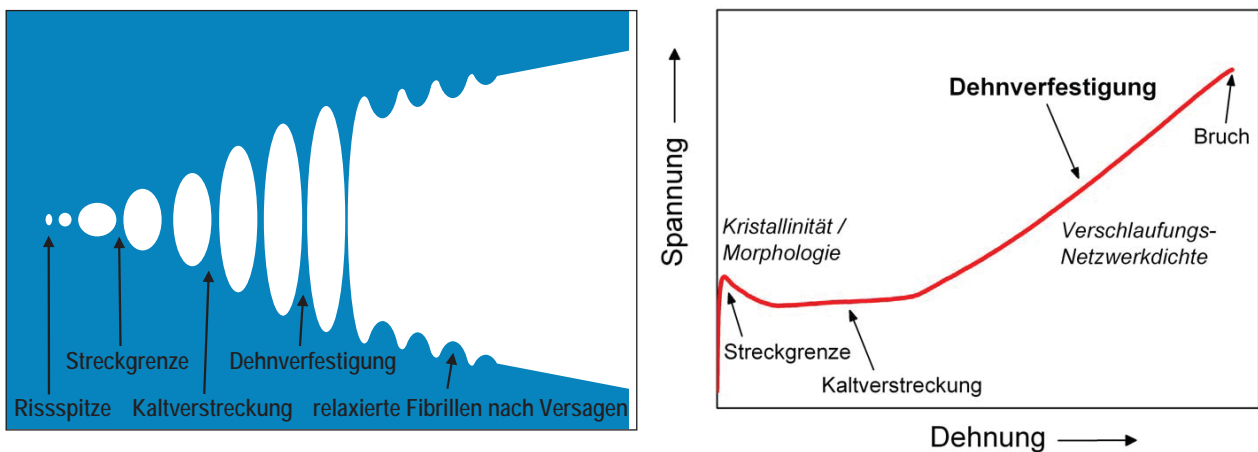
# FNCT-Zeiten der Deponierohre



# Strain Hardening Methode

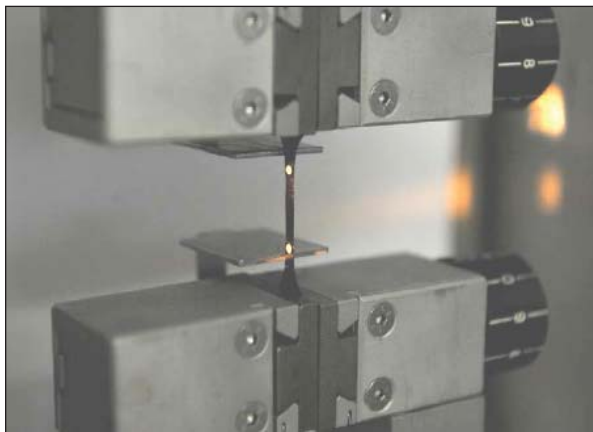


# Strain Hardening Methode



**Analogie** der **mikroskopischen Verstreckung der Fibrillen im Riss** und der **Verstreckung des Probekörpers im Zugversuch**

## Zugversuch bei 80°C



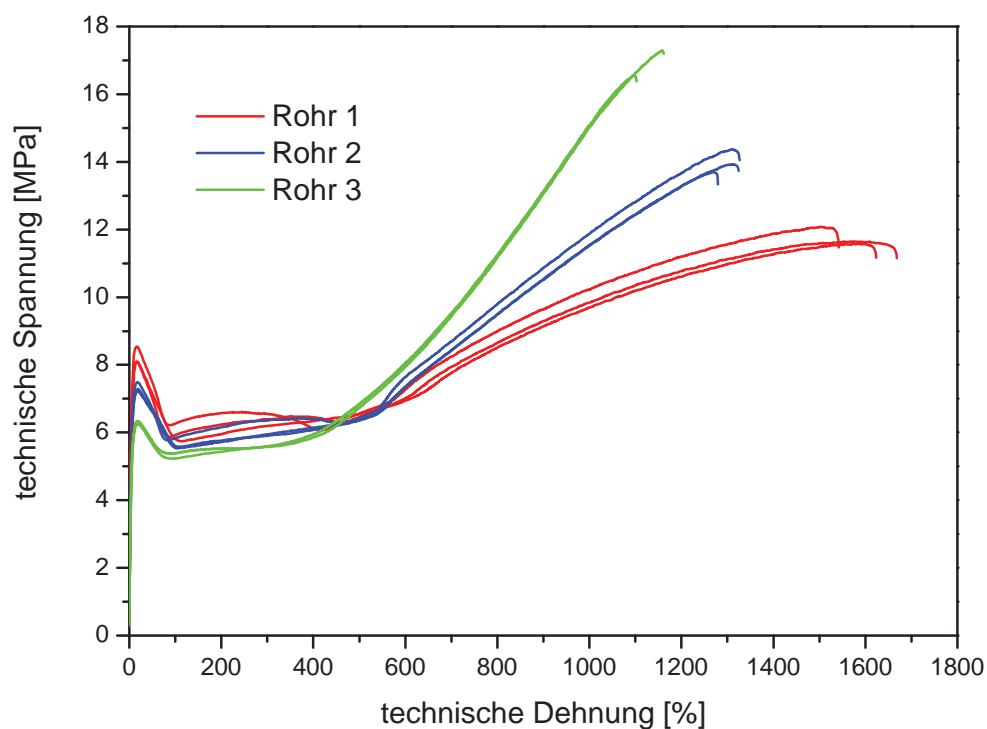
- Universalprüfmaschine mit Temperierkammer
- Kraftmessdose 500 N
- Optische Dehnungsmessung
- $T = 80\text{ °C}$
- $v = 10\text{ mm/min}$
- Zugstab: ISO 527-2, Typ 5B



## Verstreckverhalten bei 80°C

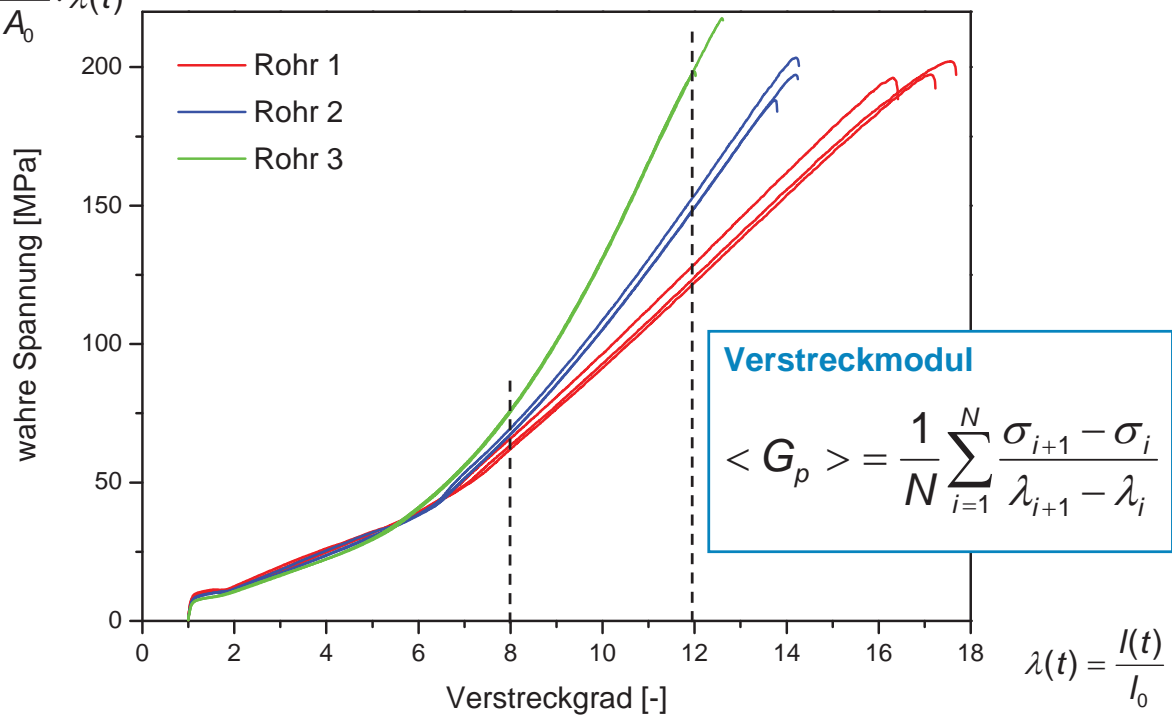
### Technische Spannung

#### Beispiel

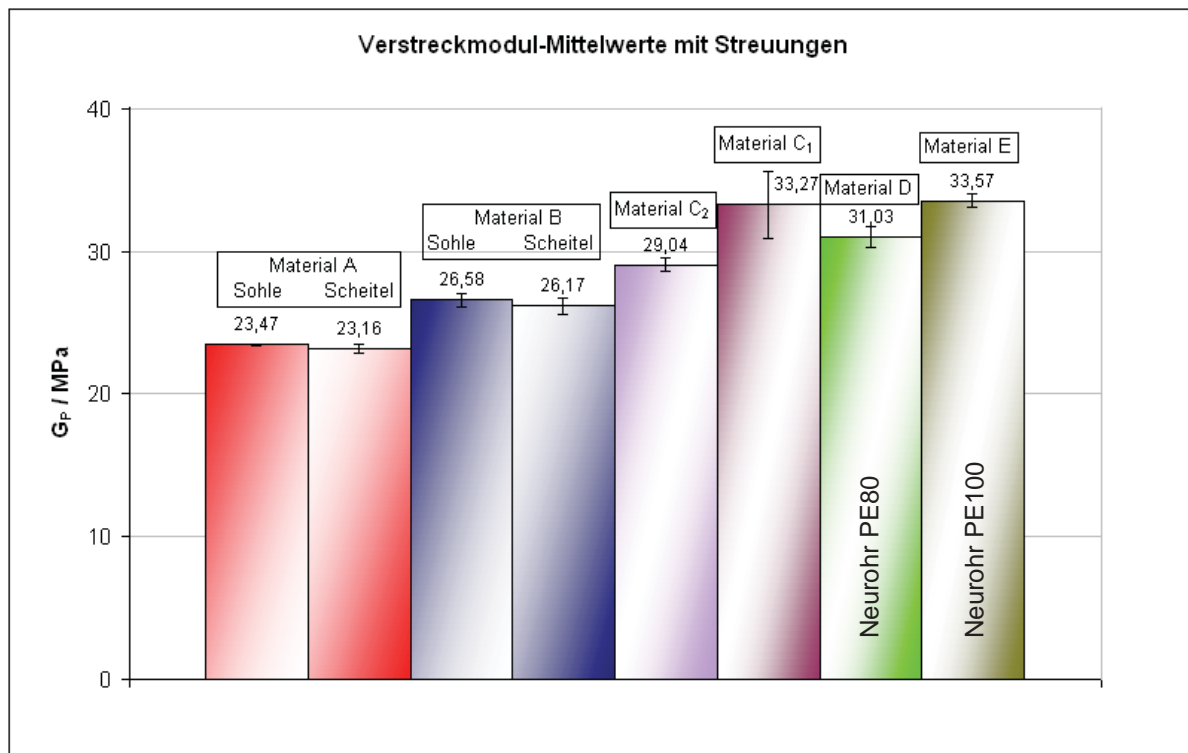




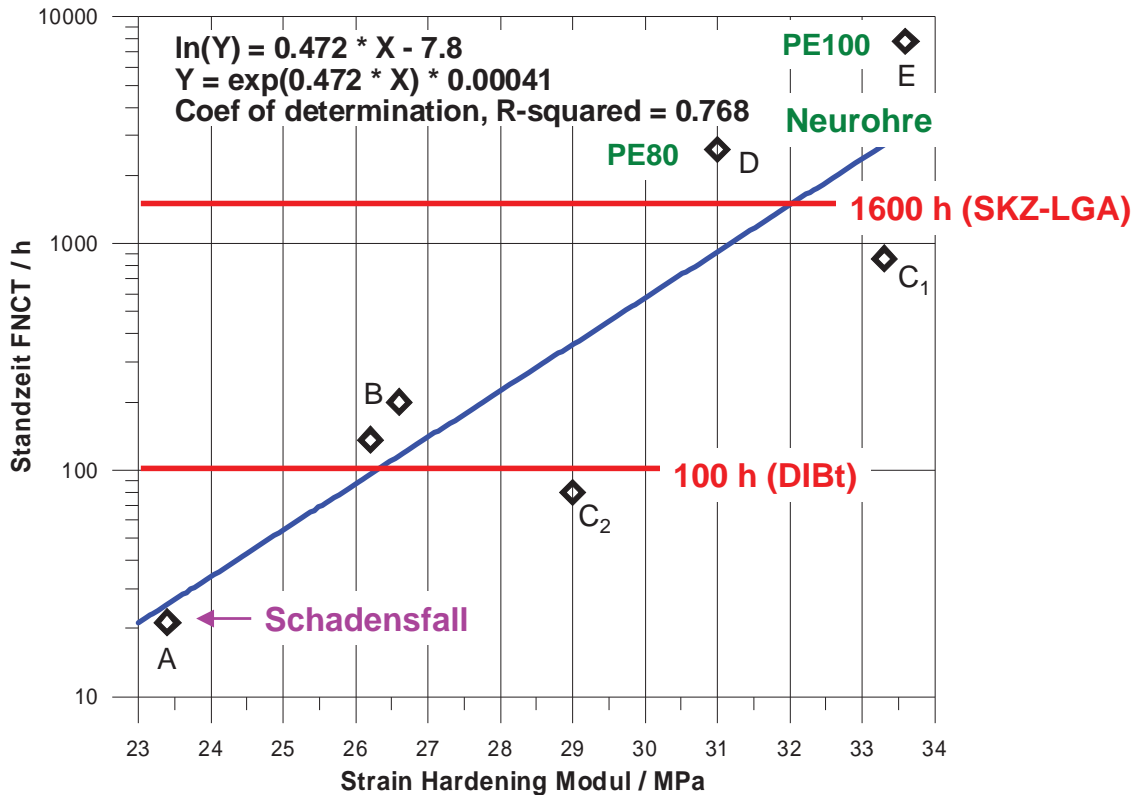
$$\sigma_T = \frac{F(t)}{A_0} \cdot \lambda(t)$$



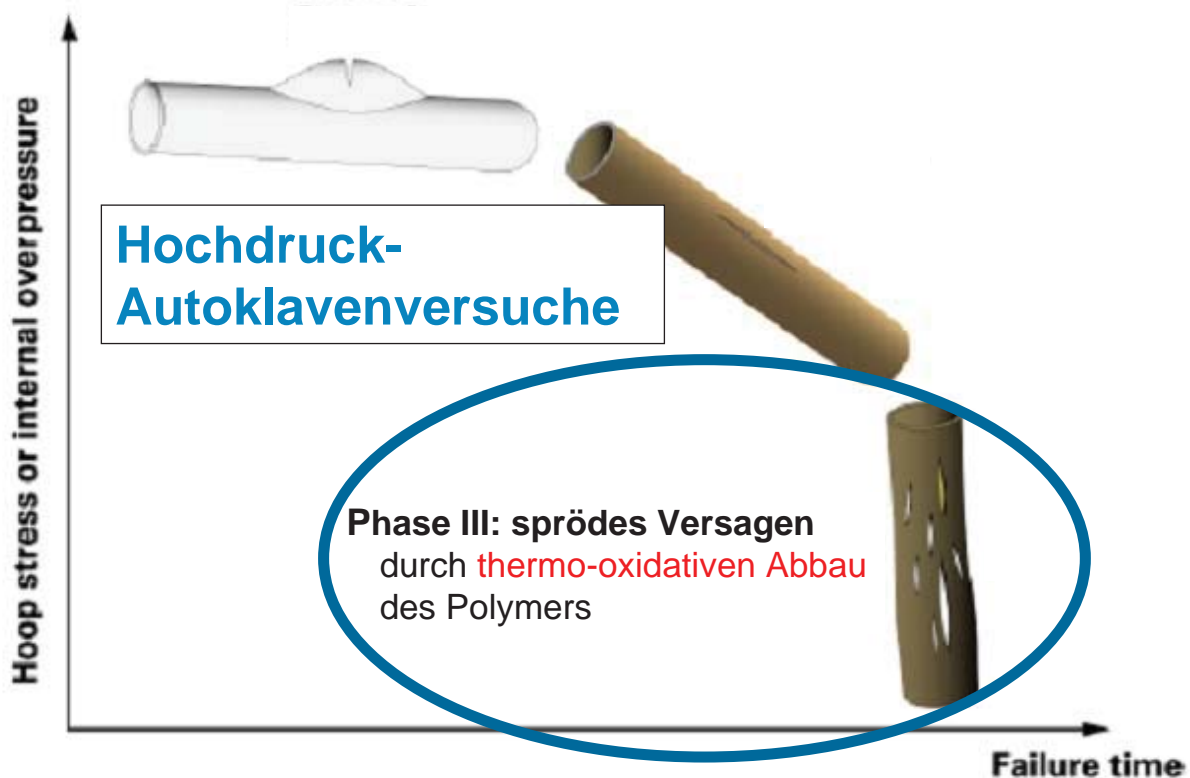
## Verstreckmodul der Deponierohre



# FNCT vs. Verstreckmodul



# Thermo-oxidatives Versagen



Material	OIT <sub>200°C</sub> im Anlieferungszustand / min
A	58,8
B	86,6
C <sub>1</sub>	48,1
C <sub>2</sub>	81,8
D	128,4
E	137,8

Anforderung nach DIBt  
bei Anwendungstemperatur von 20°C:

OIT<sub>200°C</sub> > 30 min



- Prüfung in einer wässrigen Lösung mit basischem Milieu (pH = 10)
- bei erhöhter Temperatur (typisch für PE: 60 °C bis 90 °C) hier: **80°C**
- und erhöhtem Sauerstoffdrucks (typisch: 10 bar bis 50 bar) hier: **50 bar**

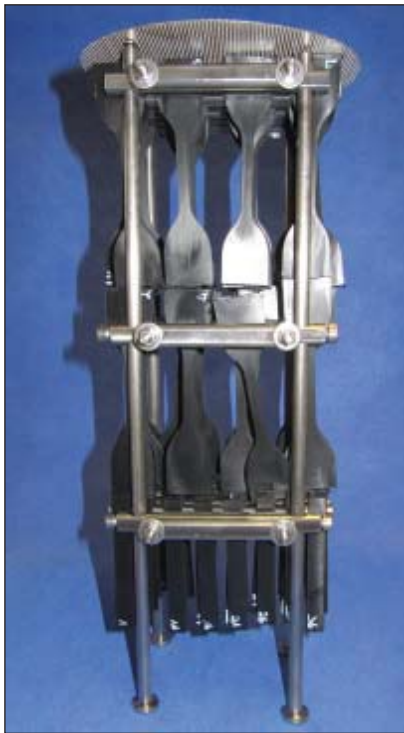
### Beschleunigung der Oxidation

➔ Lebensdauerabschätzung nach vertretbaren Versuchsdauern

SKZ:

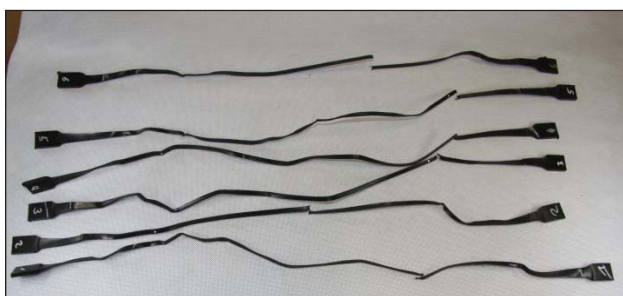
- 6 Autoklaven: Volumen je 9 l
- 2 Autoklaven: Volumen je 9 l (06/12)
- 2 Autoklaven: Volumen je 59 l (07/12)





- Einlagerung von Zugstäben im Autoklav (evtl. bei unterschiedlichen Temperaturen und Sauerstoffdrücken)
- Entnahme von Probekörpern und Durchführung mechanischer Prüfungen in Zeitintervallen von mehreren Tagen bzw. Wochen
- OIT-Messungen in Abhängigkeit der Einlagerungszeit zur Bewertung des Stabilisatorverbrauchs

## Zugversuchsproben nach verschiedenen Alterungsdauern

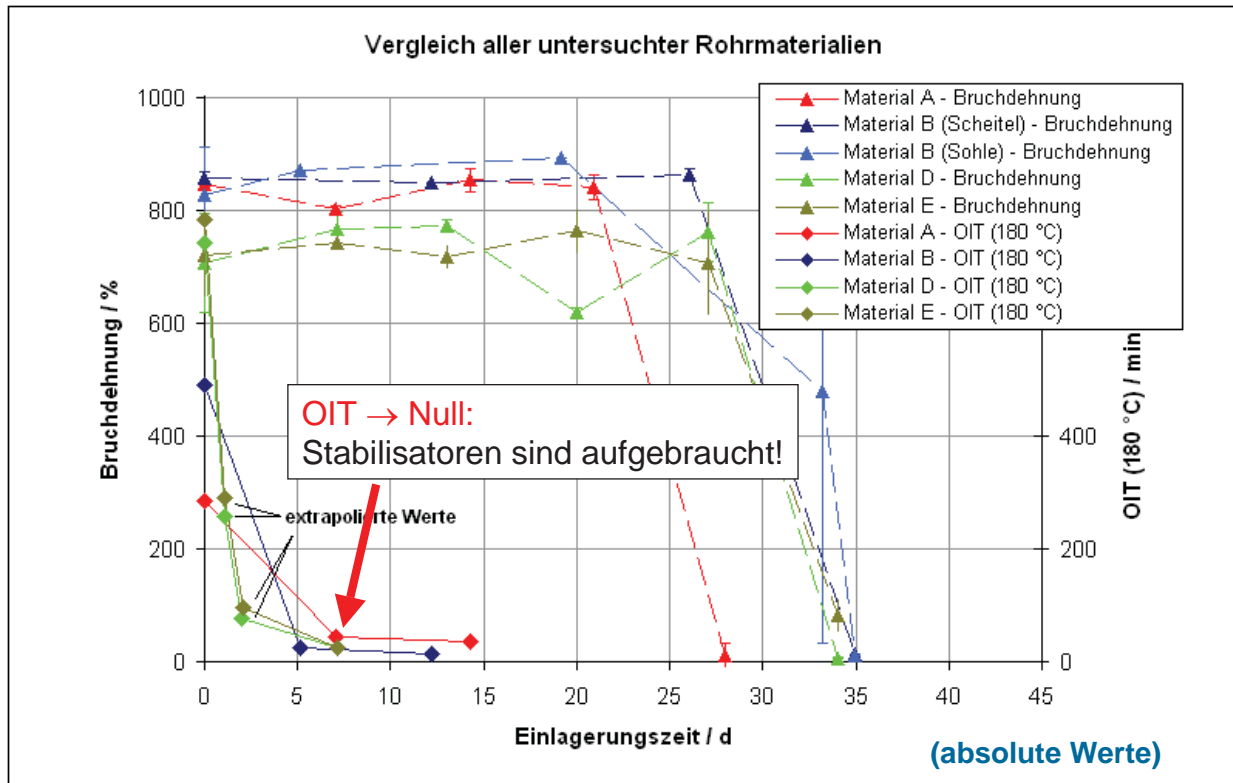


Ungealterte Zugstäbe mit duktilem Versagen

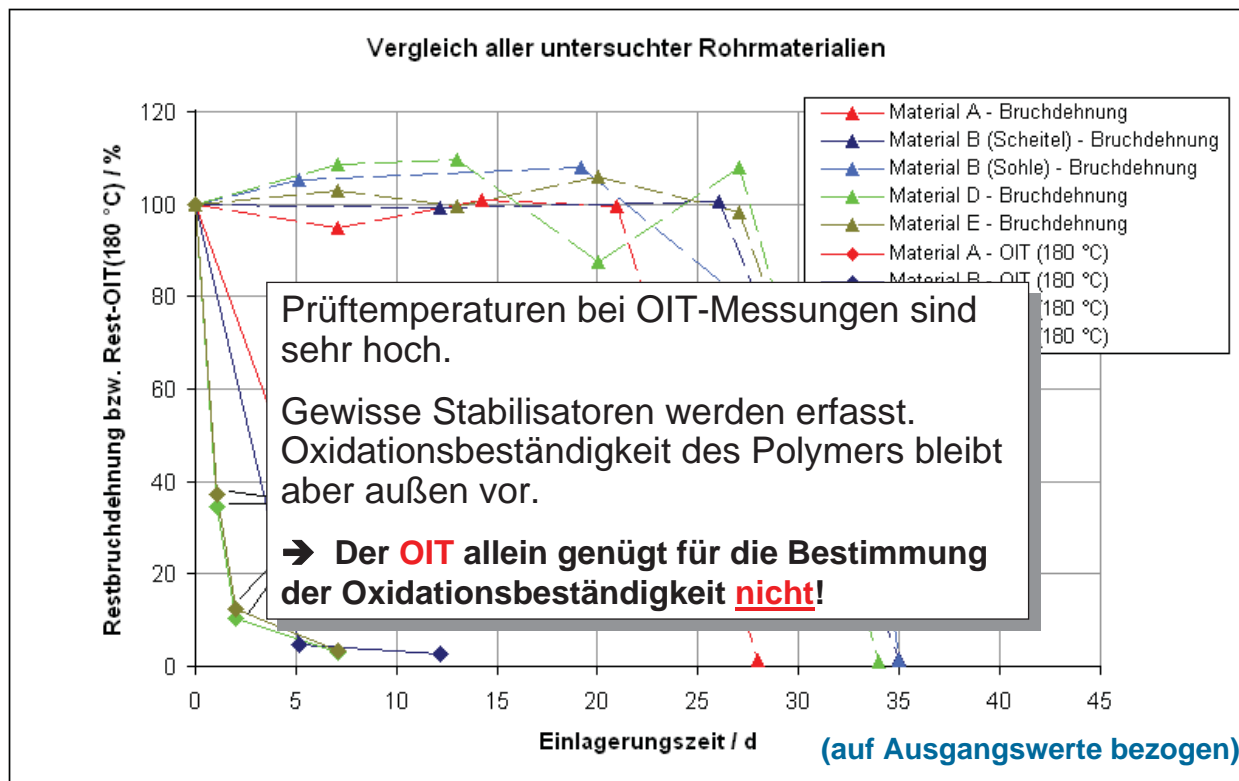


Gealterte Zugstäbe mit sprödem Versagen

# Hochdruck-Autoklavenversuche (80°C/50bar)



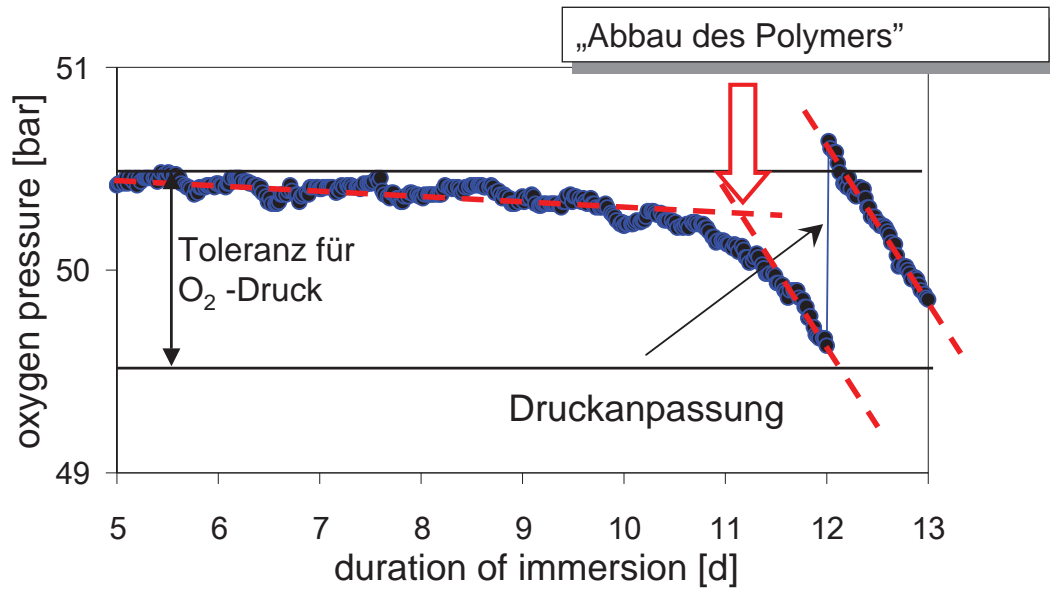
# Hochdruck-Autoklavenversuche (80°C/50bar)



# Abfall des Sauerstoffdrucks



## Beispiel

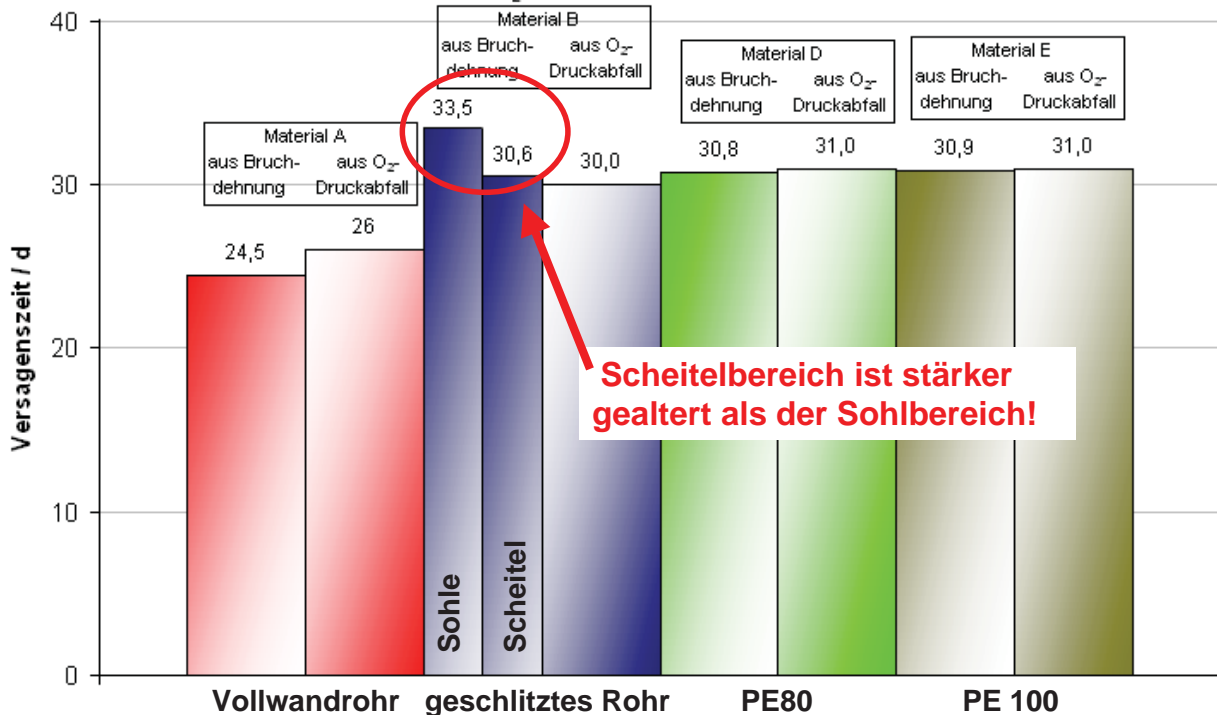


→ Der Abfall des Sauerstoffdrucks zeigt, dass die Stabilisierung (z. B. Phenol) verbraucht ist und die Oxidation des Polymers beginnt.

# Bruchdehnung und O<sub>2</sub>-Druckabfall



Vergleich: Versagenszeit anhand der Bruchdehnung mit Versagenszeit anhand des O<sub>2</sub>-Druckabfalls im Autoklav

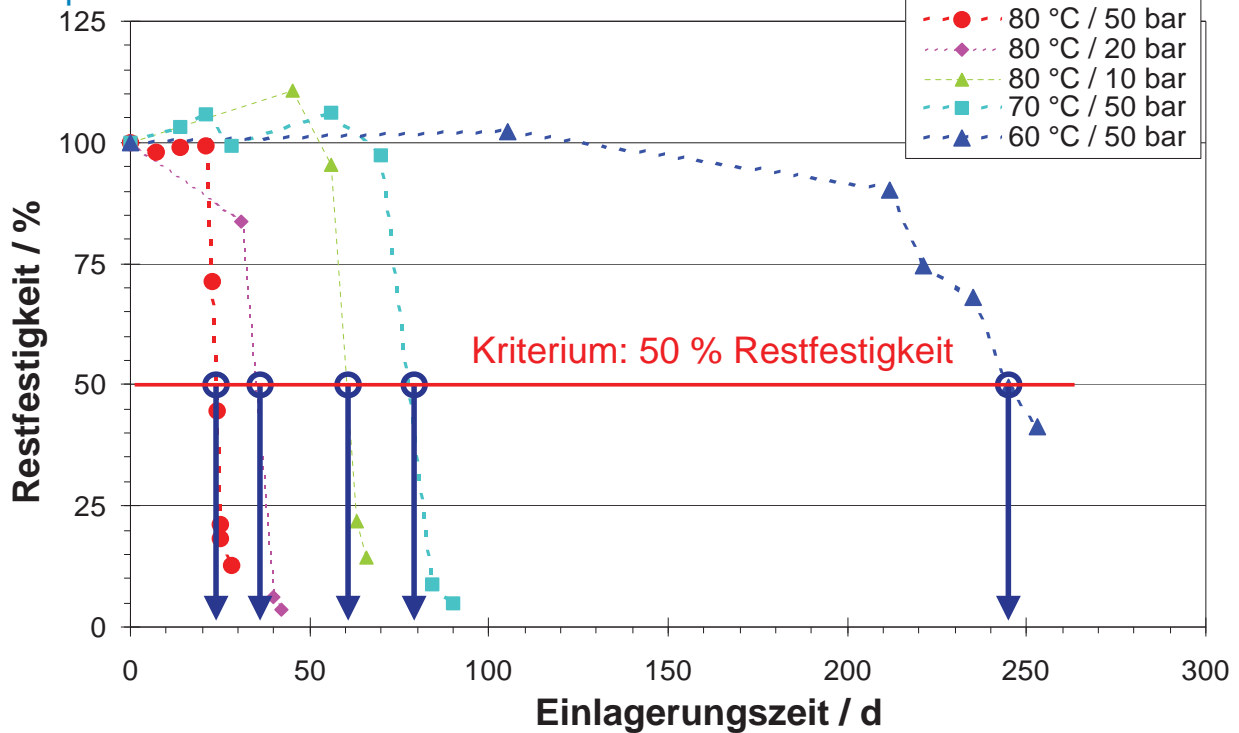




# Variation der Prüfbedingungen



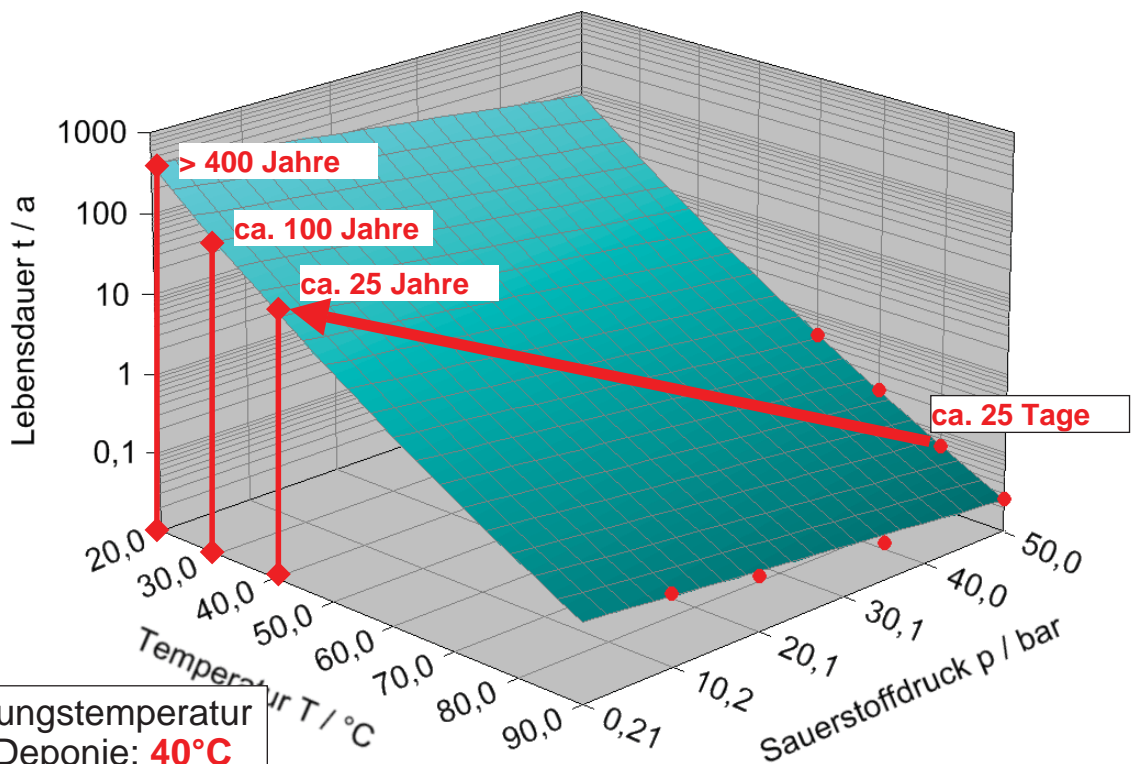
## Beispiel



# Lebensdauerabschätzung für PE-Rohr: Variation von Prüftemperatur und von Sauerstoffdruck



## Beispiel



1. Spannungsrisssbeständigkeit der ausgebauten Rohre entspricht nicht immer den heutigen Anforderungen
  - FNCT sehr zeitaufwendig und teilweise große Streuung
  - Strain Hardening Test liefert schnelle Aussagen (geringe Streuung)
2. OIT-Messungen allein geben keine Aussage über die Oxidationsbeständigkeit eines PE-Rohrs
3. Hochdruck-Autoklavenversuche erlauben eine beschleunigte Alterung unter anwendungsnahen Temperaturen
  - Scheitelpunkt im Rohr stärker gealtert als Sohlbereich
  - Restlebensdauer von mehreren Jahrzehnten für Anwendungstemperaturen von ca. 40 °C ist für die ausgebauten Rohre fragwürdig

## Ausblick

1. Statischer Festigkeits- und Verformungsnachweis (nach ATV M 127 / DWA A 127) über FEM-Analyse
2. Abschätzung der Restlebensdauer von alten Deponierohren über zeittraffende Prüfmethode
3. Überprüfung der Materialanforderungen für eine Mindestlebensdauer von 100 Jahren bei 40 °C

gefördert durch

**Bayerisches Landesamt für  
Umwelt**

