

Kunststoffe unter Langzeitbelastung - Anwendung viskoelastischer Materialmodelle

Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer

4a engineering GmbH, Traboch, Österreich

Abstract:

Viscoelastic effects have a wide influence on the behaviour of long-term loaded components. Considering this characteristic behaviour of polymer materials appropriate material models have to be used in FE-simulations.

LS-Dyna provides a 3-parameter creep material model (Mat_115 MAT_UNIFIED_CREEP).

The present study roughly outlines the above mentioned material model and visualises the results of various FE-simulations to evaluate the adequacy of the model for the intended use.

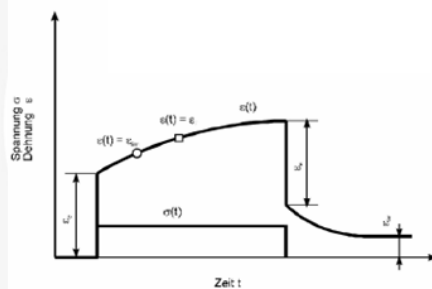
The material model represents the behaviour of long time loaded components satisfactorily.

Certain shortcomings of the model have been found with regard to retardation processes. They can not be modelled sufficiently.

Keywords:

Creep, viscoelastic, polymer, Mat_115, MAT_UNIFIED_CREEP, liner, spring

Viskoelastische Materialmodelle



4a engineering GmbH
Industriepark 1
8772 Traboch

Kunststoffe unter Langzeitbelastung - Anwendung viskoelastischer Materialmodelle

T. Wimmer, M. Fritz, P. Reithofer (4a engineering GmbH)
W. Bretis (Bretis KEG)
M. Haager (AGRU Kunststofftechnik GmbH)

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 1
Datum: 14.09.2008
Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Inhaltsverzeichnis

Themen



- Einleitung
- Zeitstandverhalten von Polymerwerkstoffen
- Materialmodelle LS-Dyna
- Anwendungsbeispiele
- Zusammenfassung

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 2
Datum: 14.09.2008
Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Einleitung



- Viskoelastisches Materialverhalten prägt stark die Eigenschaften von Polymerwerkstoffen.
- Mit Hilfe eines geeigneten Materialmodells (Mat_115 MAT_UNIFIED_CREEP) soll dieses Verhalten in der FE-Simulation abgebildet werden.
- Anhand von Beispielen werden Ergebnisse aus Simulationen dargestellt und Eignung und Grenzen des Modells aufgezeigt.

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 3
 Datum: 14.09.2008
 Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
 Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Zeitstandverhalten von Polymerwerkstoffen



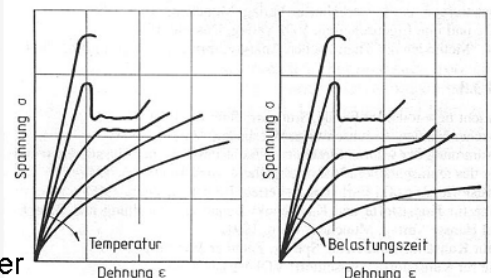
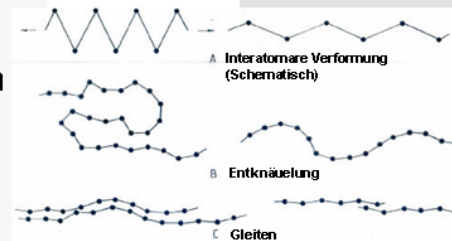
- **Eigenschaften von Polymerwerkstoffen hauptsächlich durch makromolekularen Aufbau bestimmt:**

- Chemische Beschaffenheit
- Anordnung
- Größe

- **Strukturelles Verhalten wird geprägt durch:**

- Temperatur
- Belastungsdauer und Belastungshöhe
- Belastungsgeschwindigkeit

Zeit-Temperatur Verschiebung wird in der Materialcharakterisierung genutzt um lange Belastungszeiten extrapolieren zu können



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 4
 Datum: 14.09.2008
 Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
 Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

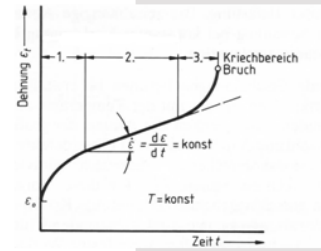
I N P H Y S I C S W E T R U S T

Zeitstandverhalten von Polymerwerkstoffen



➤ Einteilung des Kriechverhaltens in 3 Bereiche:

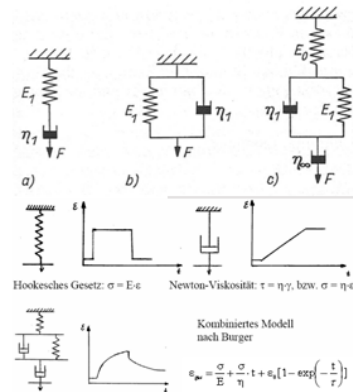
- Primäres Kriechen – Starke Zunahme der Dehnungen
- Sekundäres Kriechen – $\frac{d\epsilon}{dt} = const.$
- Tertiäres Kriechen – Zunahme der Dehnungen bis zum Versagen



➤ Abbildung der Viskoelastizität über Ersatzschaltbilder:

Ersatzschaltbilder:

- Darstellung über Feder-Dämpfersysteme
 - a) Maxwell Modell
 - b) Voigt-Kelvin-Modell
 - c) Burgers-Modell



Materialmodell LS-Dyna



➤ Betrachtung Mat_115 MAT_UNIFIED_CREEP

- Verfügbar für Solids, Shells
- 3-Parametermodell
- Kriechdehnungen sind reine Funktion von Formänderungsspannungen. Das volumetrische Verhalten ist elastisch.
- Modellbeschreibung Whirley und Henshall [1992]

$$\bar{\epsilon}^c = A \bar{\sigma}^n \bar{t}^m$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} \sigma_{ij} \sigma_{ij}}$$

- $\bar{\epsilon}^c$... Effektive Kriechdehnungen
- A ... Spannungskoeffizient
- n ... Spannungsexponent
- m ... Zeitexponent
- $\bar{\sigma}$... Effektive Spannungen
- \bar{t} ... Effektive Zeit

Materialmodell LS-Dyna



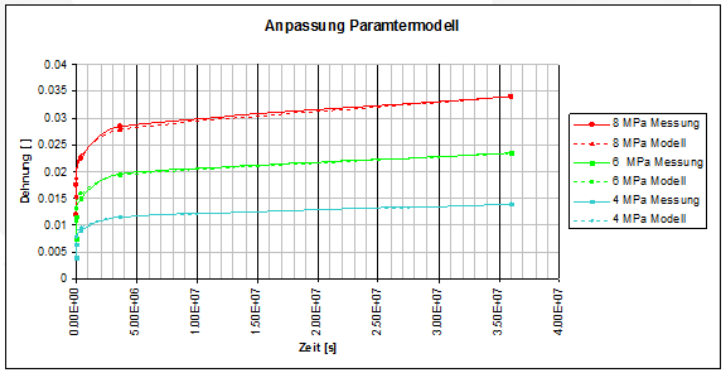
- Anpassung der Parameter an Messkurven über Methode der kleinsten Fehlerquadrate.

$$\epsilon_{creep} = A \cdot \sigma_{DEV}^n \cdot t^m$$

A	5.37E-04
n	1.280015254
m	0.085430195

Anpassung der Kurven über Methode der kleinsten Fehlerquadrate

TIME	Wissenschaftl. Mod.			Kleinsten Fehlerquadrate			Fehlerrückmeldung			
	σ _{DEV} [MPa]	ε _{DEV}	t [s]	σ _{DEV} [MPa]	ε _{DEV}	t [s]	σ _{DEV} [MPa]	ε _{DEV}	t [s]	
1	38000	0.0083757	0.010715	0.015483	1000	800	868.665	0.004	0.0075	0.012
100	38000	0.0079718	0.012042	0.018349	815.3346	521.7391	457.1425	0.0085	0.0115	0.0175
100	38000	0.0094931	0.011570	0.022346	444.4444	400	358.858	0.009	0.015	0.0265
1000	3800000	0.0115032	0.019328	0.029358	347.8281	307.6923	280.7015	0.0115	0.0185	0.0285
10000	38000000	0.014004	0.023532	0.034001	285.7143	256.3191	235.291	0.014	0.0235	0.034

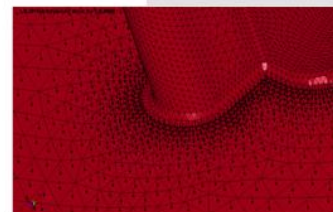
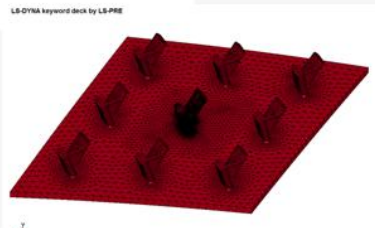
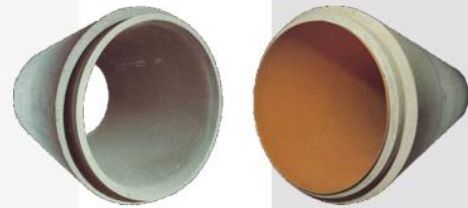


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele Betonschutzplatte Agru GmbH



- **Liner für Betonrohre aus HDPE**
- Funktionalität:
 - Abdichtung
 - Chemische Beständigkeit
 - Glatte Flächen (Abfließen bei geringen Wassermengen)
 - Dichtheit auch bei teilweisem Bruch des Betonrohrs
- **Lasten für FE-Simulation**
 - Grundwasseraußendruck
 - Langzeitbelastung (50 Jahre)



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

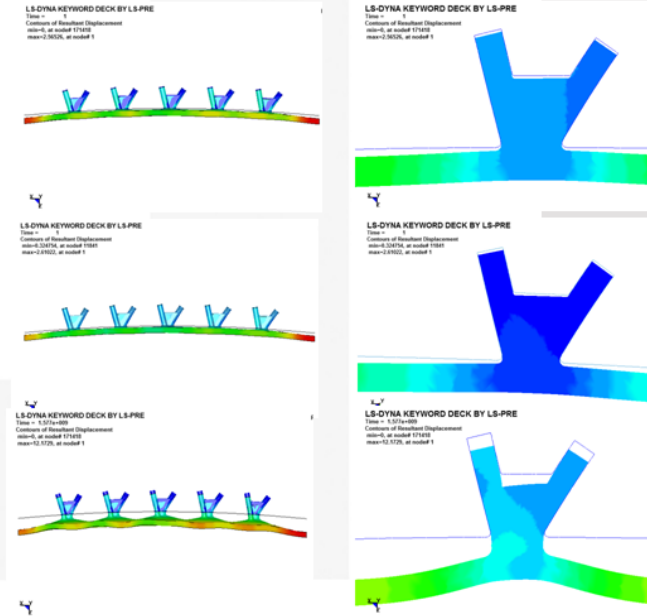
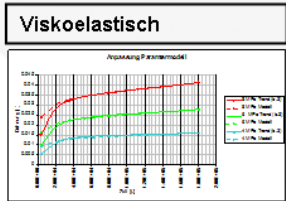
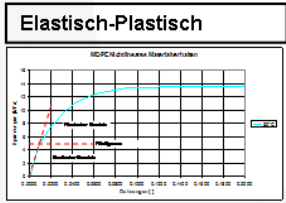
Anwendungsbeispiele Betonschutzplatte Agru GmbH



- Die unterschiedlichen Materialmodelle zeigen ein differentes Verformungsbild. Ein Vorhersage des Langzeitverhaltens ohne geeignetes Materialmodell ist nicht zielführend.

Linear Elastisch

Kurzzeitbelastung bei 30°C
 $E=550 \text{ MPa}$
 $\eta=0.38$



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 9
 Datum: 14.09.2008
 Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
 Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Anwendungsbeispiele Matratzenfederelement Bretis KEG



- **Stützelement in einer Kaltschaummatratze aus POM**
 Funktionalität:
 - Substitution einer bestehende GFK-Spiralfeder
 - Kostengünstige Herstellung (Spritzgussverfahren)
 - Unterschiedliche Härten
 - Austauschbarkeit durch Endkunden
- **Belastung für FE-Simulation**
 - Konstante Kompression des Federelements über 9h bei Raumtemperatur



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 10
 Datum: 14.09.2008
 Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
 Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

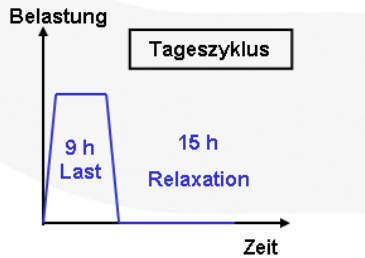
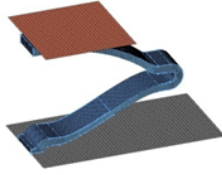
I N P H Y S I C S W E T R U S T

Anwendungsbeispiele Matratzenfederelement Bretis KEG

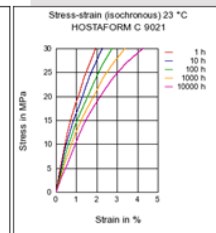
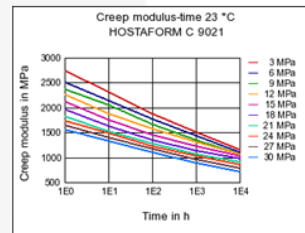


➤ FE-Simulation

- Verwendetes Material: POM Hostaform C9021
- Materialmodell wurde an bestehende Kriechkurven aus Campus angepasst.
- Ausgangsdurchmesser 70 mm
- Kompression auf 30 mm



Hostaform C 9021		
MECH		
E-Modul	N/mm ²	2850
Dehngrenze	%	9
Charpy impact strength @ 23°C	kJ/m ²	6,5
Charpy impact strength @ -30°C	kJ/m ²	6
RHEO		
MFI	cm ³ /10 min bei 190° und 2,16 kg Last	8
OTHER		
Dichte	kg/m ³	1410
Wasseraufnahme	%	0,65
Feuchtigkeitsaufnahme	%	0,2
Richtpreis	€/kg	2,50



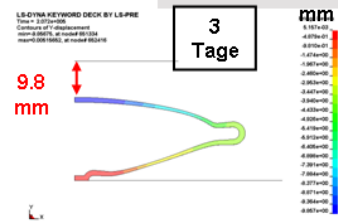
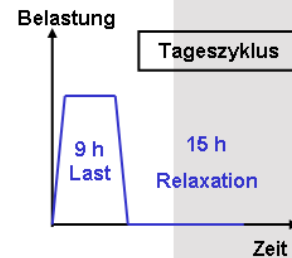
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele Matratzenfederelement Bretis KEG



➤ FE-Simulation

- Bei Belastung über mehrere Zyklen kann eine Zunahme der bleibenden Verformungen festgestellt werden.
- Diese Zunahme basiert auf der Summation der Kriechdehnungen nach der Belastungsperiode. Ein Retardieren während der Entlastungsphasen kann nicht abgebildet werden.



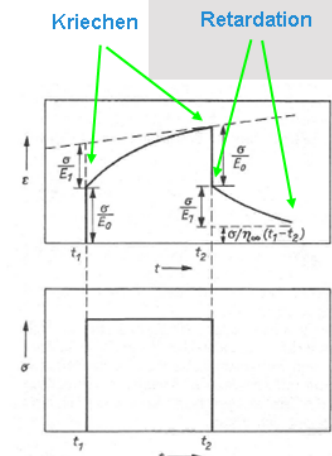
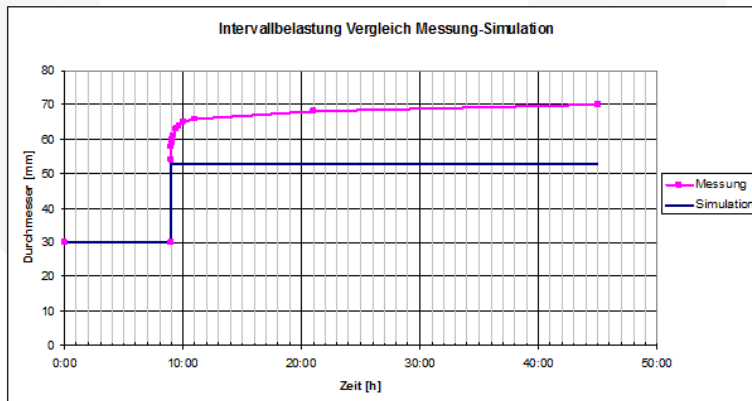
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele Matratzenfederelement Bretis KEG



➤ Vergleich Messung - Simulation

- Kriechdehnungen können gut vorhergesagt werden.
 - Durchmesser nach Belastungsende erster Zyklus Messung 54 mm
 - Durchmesser nach Belastungsende erster Zyklus Simulation 53 mm
- Retardation des Materials (Rückstellung bei Entlastung) wird durch das Kriechmodell nicht abgebildet.



© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 13
Datum: 14.09.2008
Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T

Zusammenfassung



- **Langzeitbelastete Polymerwerkstoffen sind stark von viskoelastischem Materialverhalten geprägt.**
- **Anpassung des 3-Parameter Kriechmodell (Mat_115 MAT_UNIFIED_CREEP) an Werkstoffmessdaten ist leicht möglich.**
- **Das Kriechmodell liefert gute Vorhersage der Kriechdehnungen bei anhaltender Belastung.**
- **Mit dem verwendeten Materialmodell können Retardationsvorgänge nicht berücksichtigt werden.**

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Seite: 14
Datum: 14.09.2008
Autor: Thomas Wimmer, Martin Fritz, Peter Reithofer
Datei: rep_08091109_tw_4aeng_dynaforum08.ppt

I N P H Y S I C S W E T R U S T