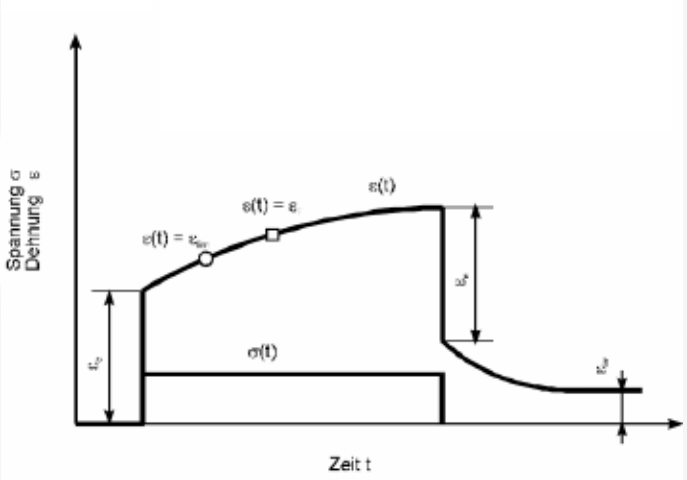
Viskoelastische Materialmodelle



4a engineering GmbH
Industriepark 1
8772 Traboch

Kunststoffe unter Langzeitbelastung - Anwendung viskoelastischer Materialmodelle

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

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

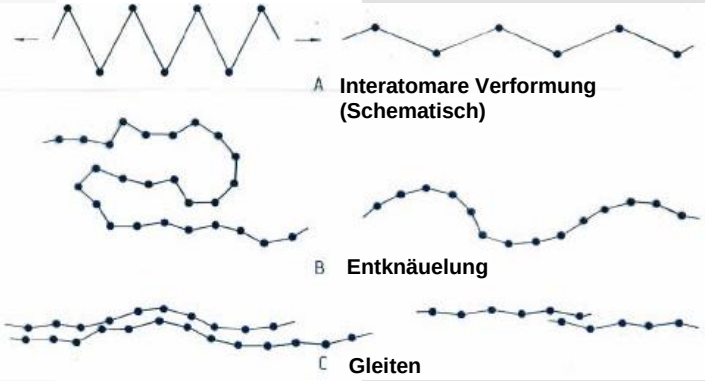
Inhaltsverzeichnis
Themen

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

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

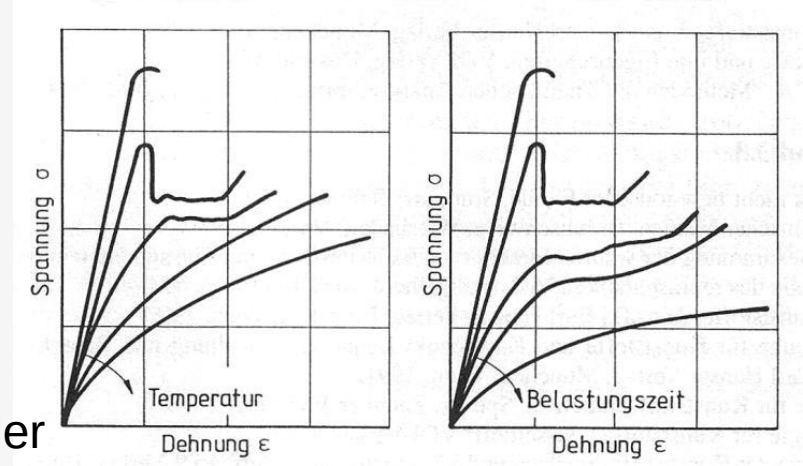
Zeitstandverhalten von Polymerwerkstoffen

- **Eigenschaften von Polymerwekstoffen hauptsächlich durch makromolekularen Aufbau bestimmt:**
  - Chemische Beschaffenheit
  - Anordnung
  - Größe



- **Strukturelles Verhalten wird geprägt durch:**
  - Temperatur
  - Belastungsdauer und Belastungshöhe
  - Belastungsgeschwindigkeit

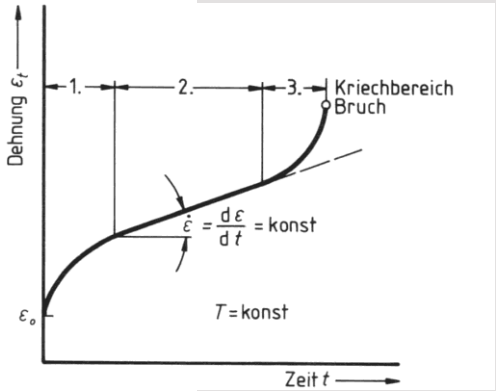
    Zeit-Temperatur Verschiebung wird in der Materialcharakterisierung genutzt um lange Belastungszeiten extrapolieren zu können

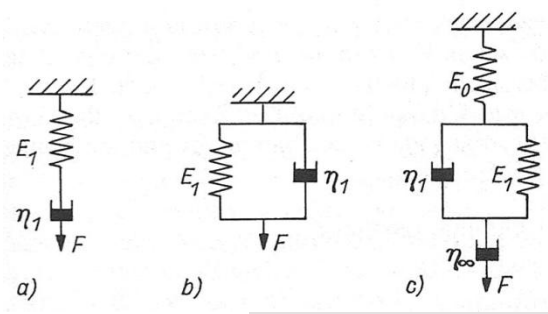


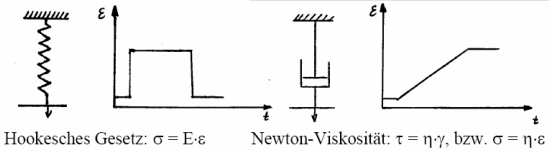
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

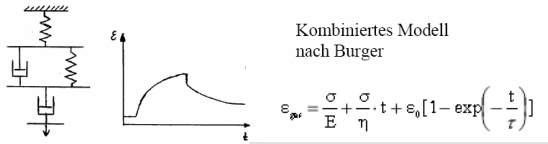
Zeitstandverhalten von Polymerwerkstoffen

- **Einteilung des Kriechverhaltens in 3 Bereiche:**
  - Primäres Kriechen – Starke Zunahme der Dehnungen
  - Sekundäres Kriechen – $\frac{d\varepsilon}{dt} = const.$
  - Tertiäres Kriechen – Zunahme der Dehnungen bis zum Versagen
- **Abbildung der Viskoelastizität über Ersatzschaltbilder:**
  - Darstellung über Feder-Dämpfersysteme
    - a) Maxwell Modell
    - b) Voigt-Kelvin-Modell
    - c) Burgers-Modell









© 4a engineering GmbH, all rights reserved

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]

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

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

$\bar{\varepsilon}^c$ … Effektive Kriechdehnungen

A … Spannungskoeffizient

n … Spannungsexponent

m … Zeitexponent

$\bar{\sigma}$ … Effektive Spannungen

$\bar{t}$ … Effektive Zeit

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Materialmodell LS-Dyna

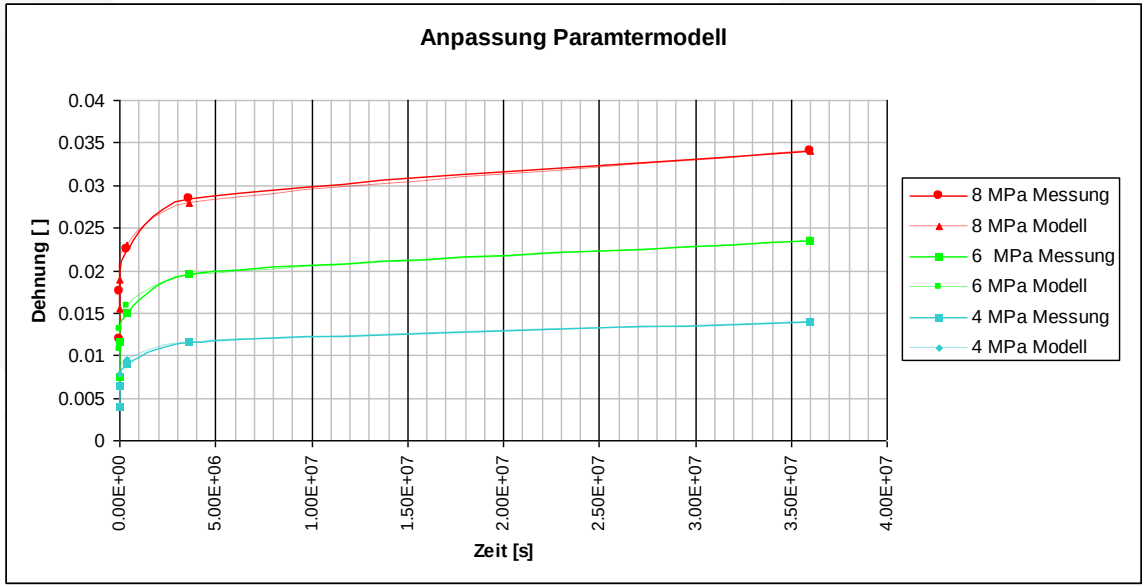
- **Anpassung der Parameter an Messkurven über Methode der kleinsten Fehlerquadrate.**

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

A	5.37E-04
n	1.280015254
m	0.085430195

Anpassung der Kurven über Methode der kleinsten Fehlerquadrate

					Kriechmodul [Mpa]			Kriechdehnung [ ]			Fehlerquadrat der Dehnung	
	σ [MPa]	4	6	8	4	6	8	4	6	8	4	6
t [h]	t [s]	ε_1	ε_2	ε_3	E1	E2	E3	ε_1	ε_2	ε_3	$\Delta\varepsilon_1^2$	$\Delta\varepsilon_2^2$
1	3600	0.0063757	0.010713	0.015483	1000	800	666.6667	0.004	0.0075	0.012	5.64409E-06	1.03E-05
10	36000	0.0077618	0.013042	0.018849	615.3846	521.7391	457.1429	0.0065	0.0115	0.0175	1.59203E-06	2.38E-06
100	360000	0.0094491	0.015878	0.022946	444.4444	400	355.5556	0.009	0.015	0.0225	2.01687E-07	7.7E-07
1000	3600000	0.0115032	0.019329	0.027935	347.8261	307.6923	280.7018	0.0115	0.0195	0.0285	1.05404E-11	2.91E-08
10000	36000000	0.014004	0.023532	0.034007	285.7143	255.3191	235.2941	0.014	0.0235	0.034	1.56213E-11	9.94E-10



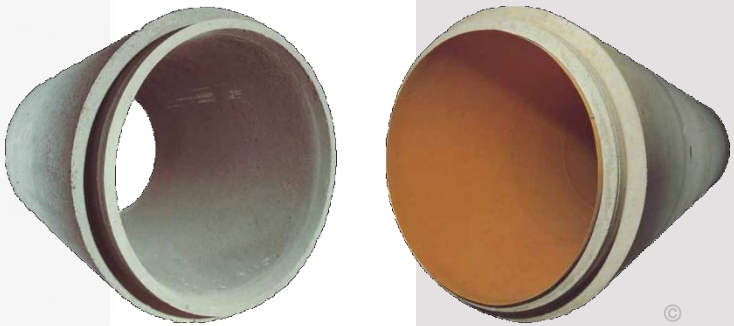
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

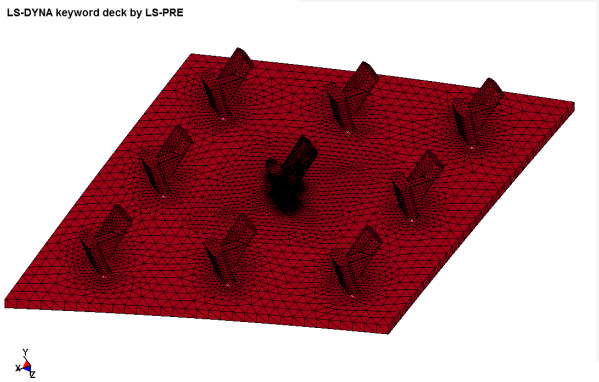
Anwendungsbeispiele
Betonschutzplatte Agru GmbH

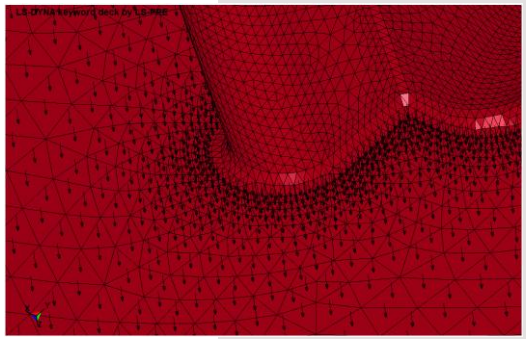
- **Liner für Betonrohre aus HDPE**

  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

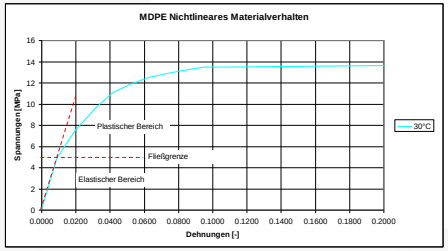
Anwendungsbeispiele
Betonschutzplatte Agru GmbH

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

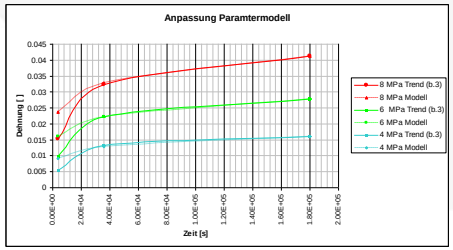
Linear-Elastisch

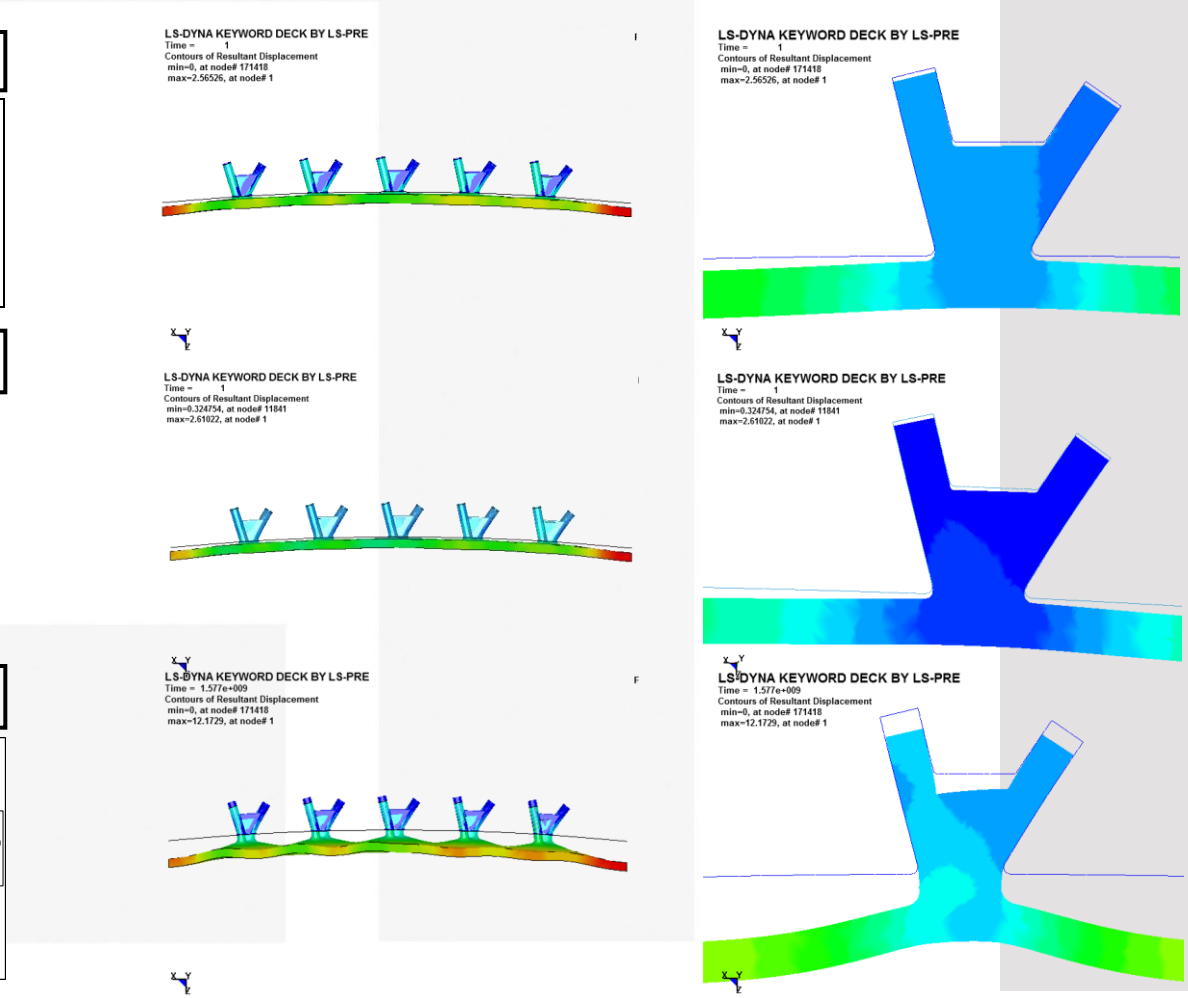
Kurzeitbelastung bei 30°C
E=550 MPa
η=0.38

Elastisch-Plastisch



Viskoelastisch

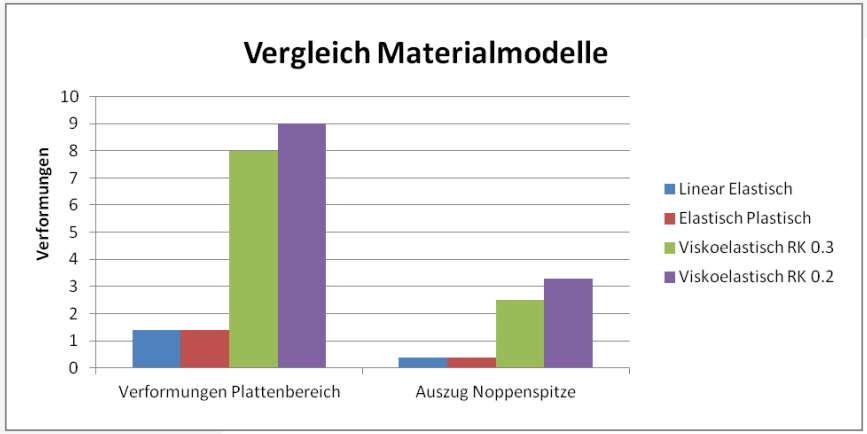


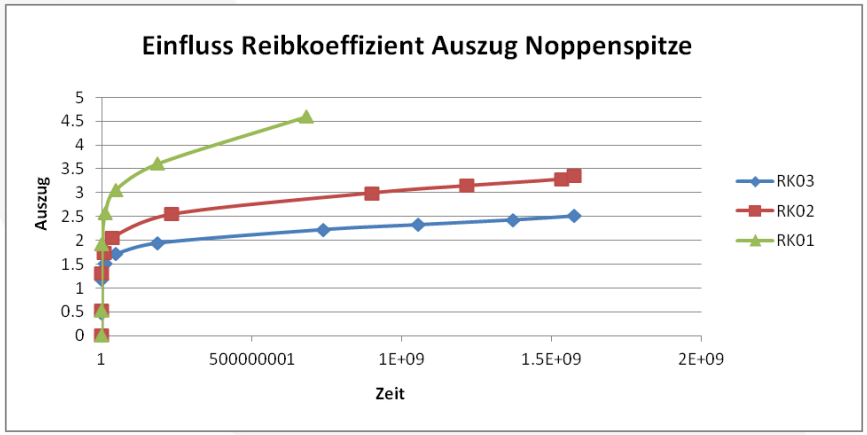


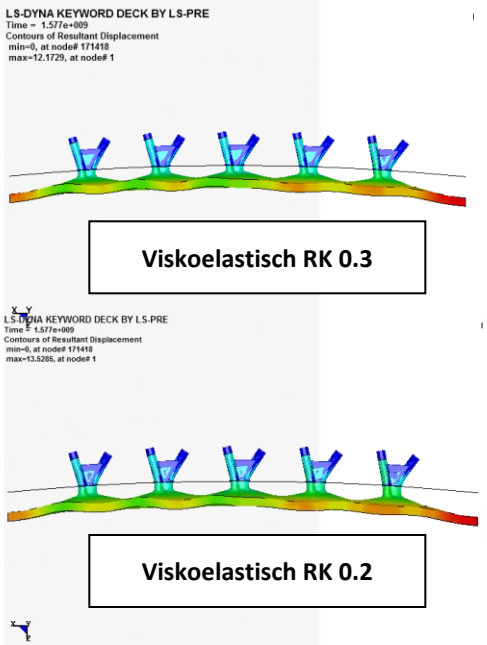
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

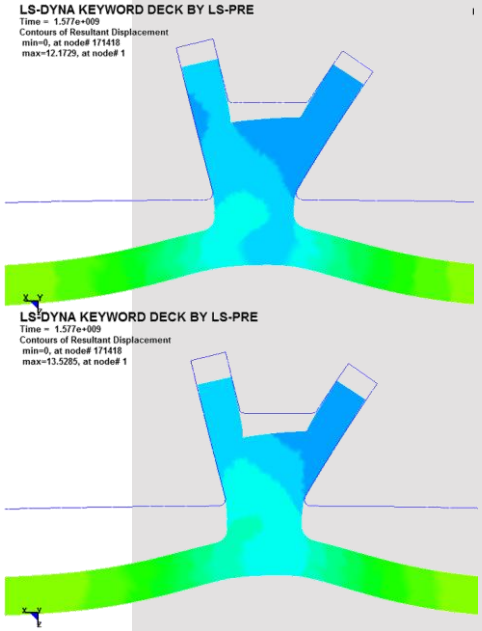
Anwendungsbeispiele
Betonschutzplatte Agru GmbH

Einflussparameter





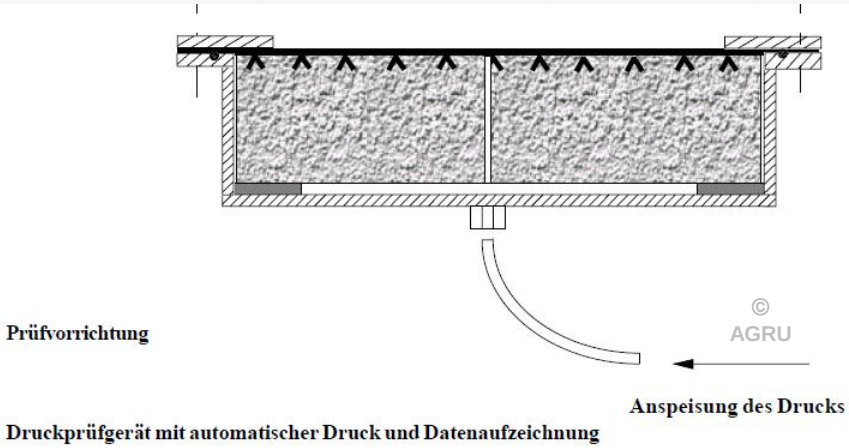




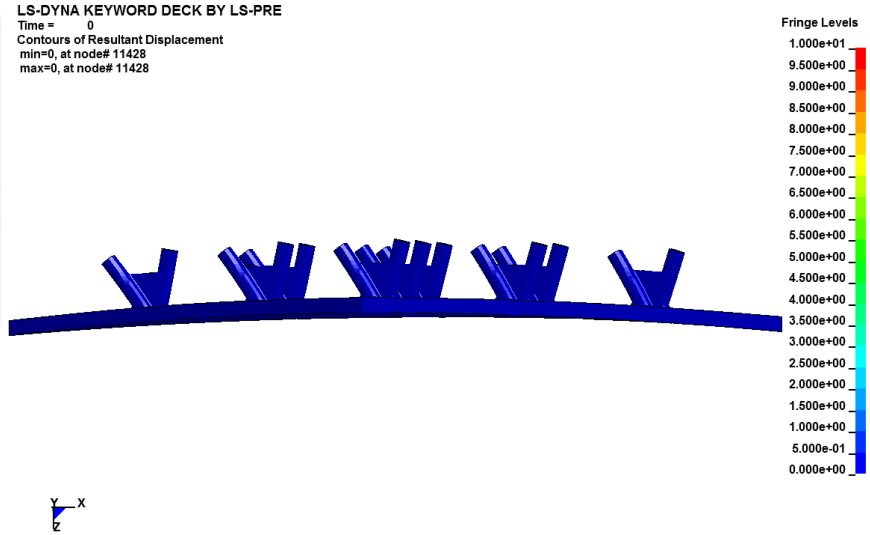
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele
Betonschutzplatte Agru GmbH

➢ **Komponentenversuche**



Druckprüfgerät mit automatischer Druck und Datenaufzeichnung



Betonschutzplatte 0h bei 1,5 bar

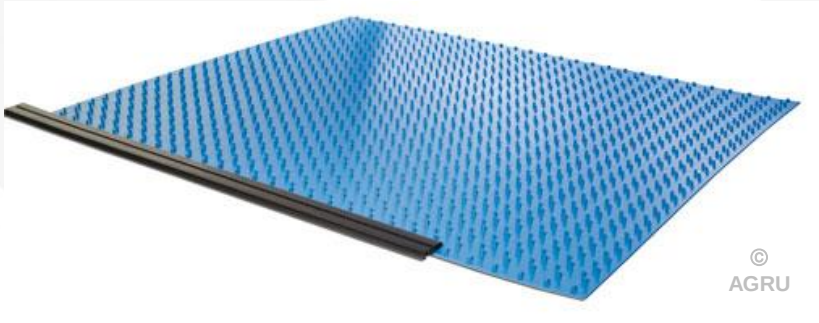
Betonschutzplatte 1270h bei 1,5 bar

© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele
Auskleidungsplatte Agru GmbH

- **Auskleidungsplatte für Trinkwasserbehälter aus HDPE**

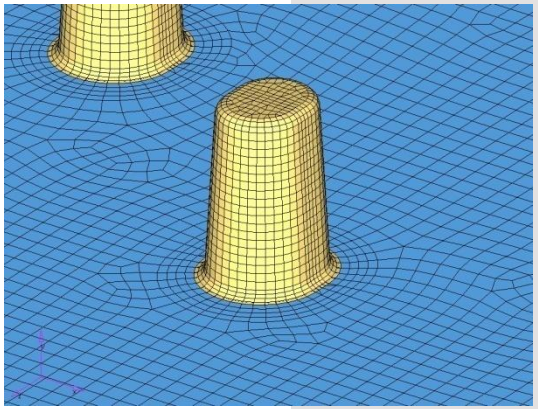
  Funktionalität:
  - Abdichtung von Trinkwasserbehältern (Neubau, Sanierung)
  - Chemische Beständigkeit (Chlorierung)
  - Geeignet für Leckageüberwachung
  - Korrosionsbeständig, Frostbeständig, Resistenz mikrobakterielle Korrosion
  - Hohe Lebensdauer
- **Lasten für FE-Simulation**
  - Hydrostatischer Druck
  - Langzeitbelastung (50 Jahre)

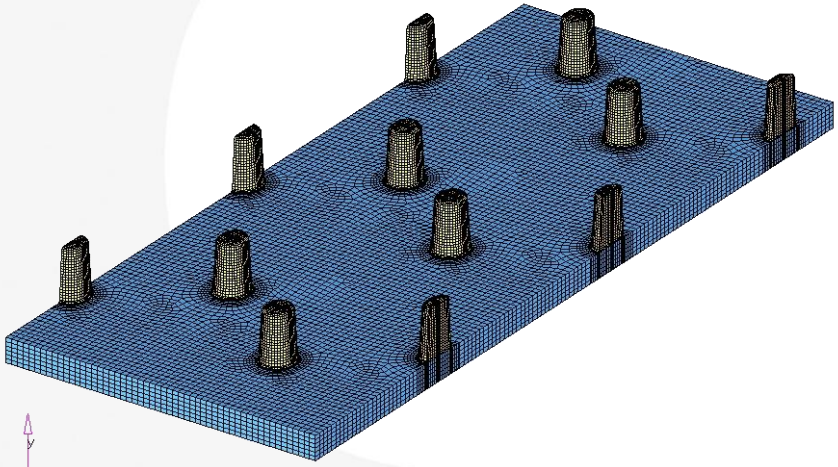


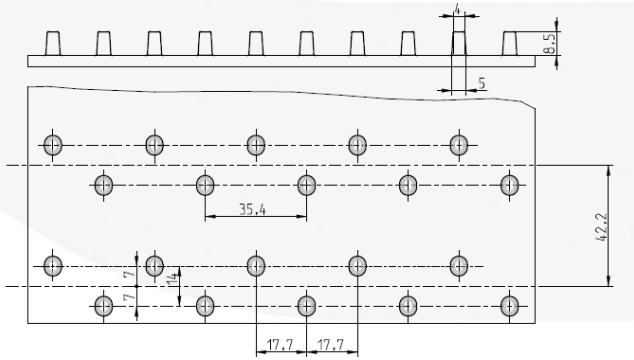
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

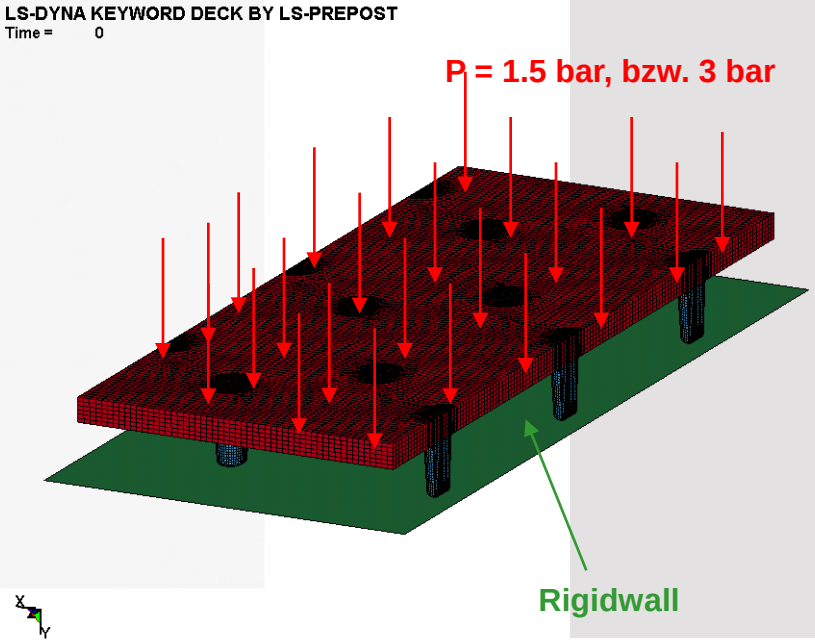
Anwendungsbeispiele
Auskleidungsplatte Agru GmbH

- **FE – Modell**
  - Brick-Elemente (LS-Dyna ET2)
  - Geometrisch und werkstofflich nichtlineare Simulation





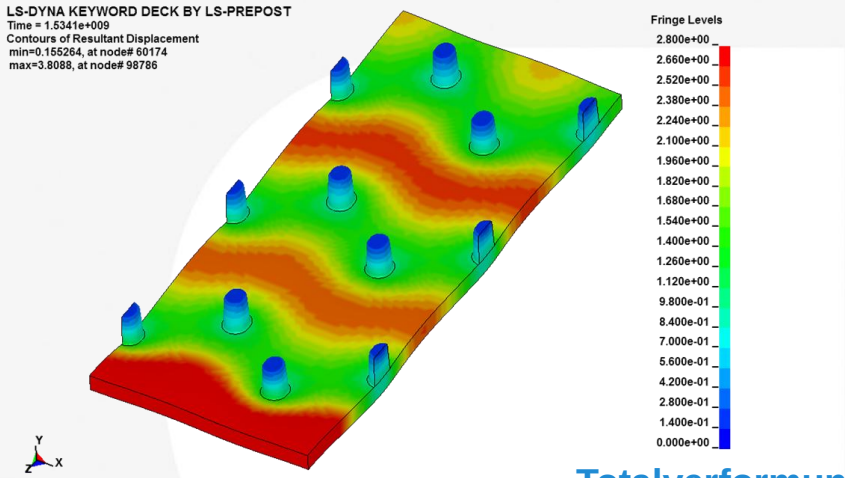


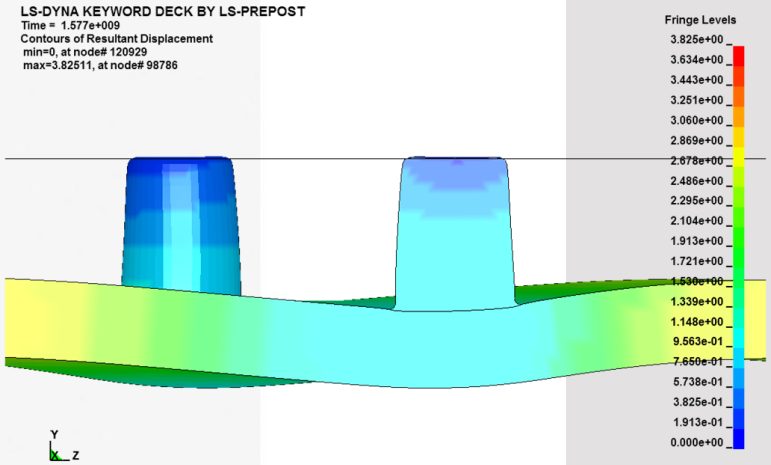


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

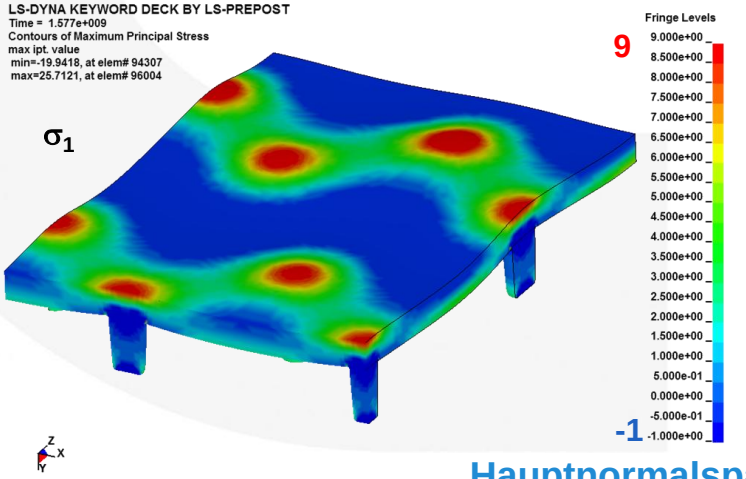
Anwendungsbeispiele
Auskleidungsplatte Agru GmbH

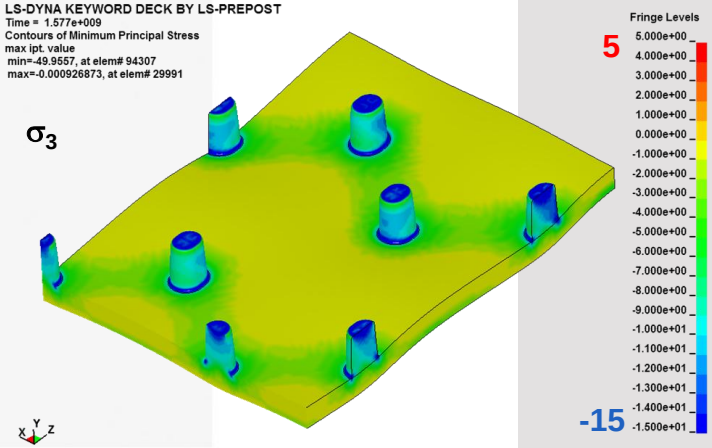
FE - Ergebnisse





Totalverformungen [mm]



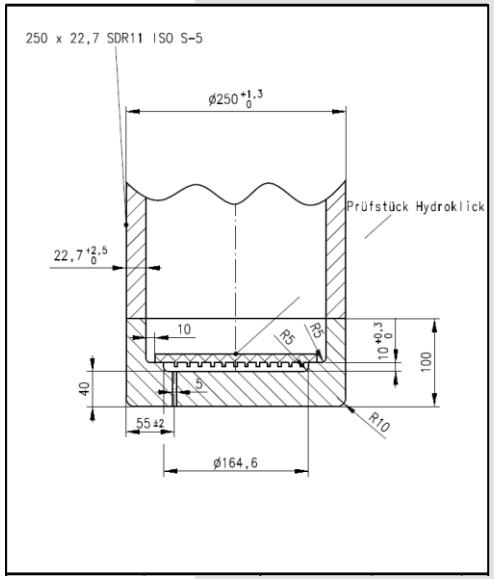


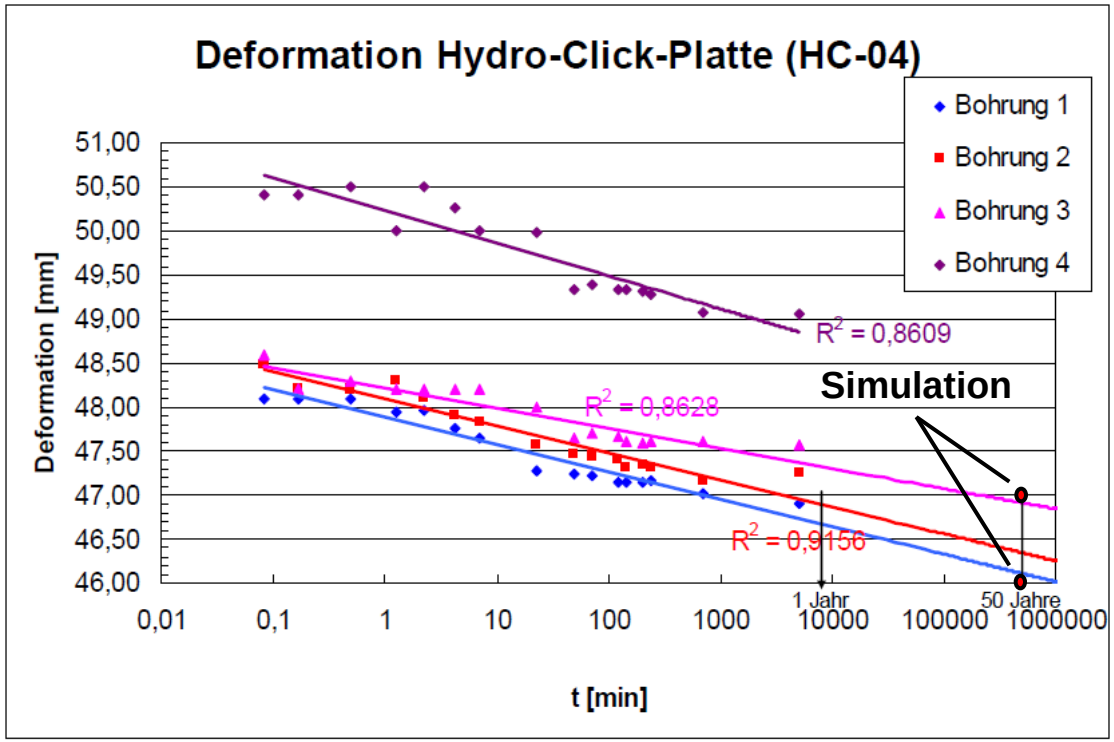
Hauptnormalspannungen [MPa]

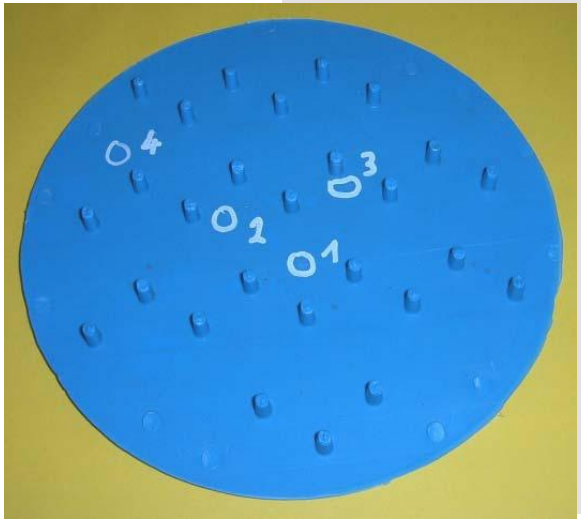
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele
Auskleidungsplatte Agru GmbH

- **Komponentenversuche**







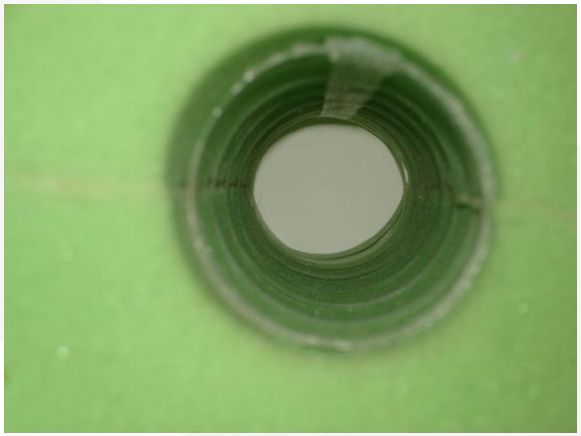
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

Anwendungsbeispiele
Matratzenfederelement Bretis KEG

- **Stützelement in einer Kaltschaummatratze aus POM**

  Funktionalität:
  - Substitution einer bestehende GFK-Spiralfeder
  - Kostengünstige Herstellung (Spritzgussverfahren)
  - Unterschiedliche Härten
  - Austauschbarkeit durch Endkunden

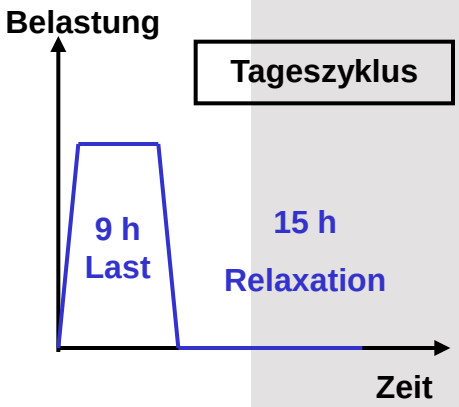
- **Belastung für FE-Simulation**
  - Konstante Kompression des Federelements über 9h bei Raumtemperatur

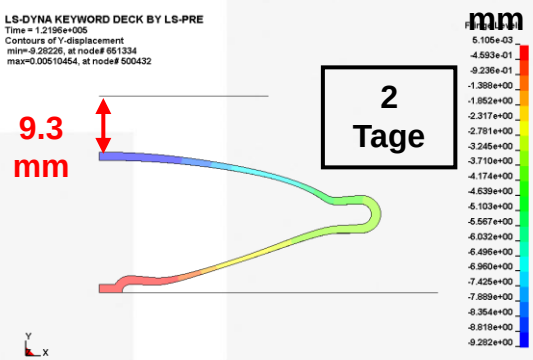


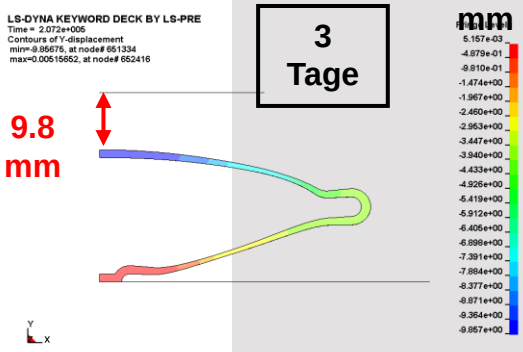
© 4a engineering GmbH, all rights reserved

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.



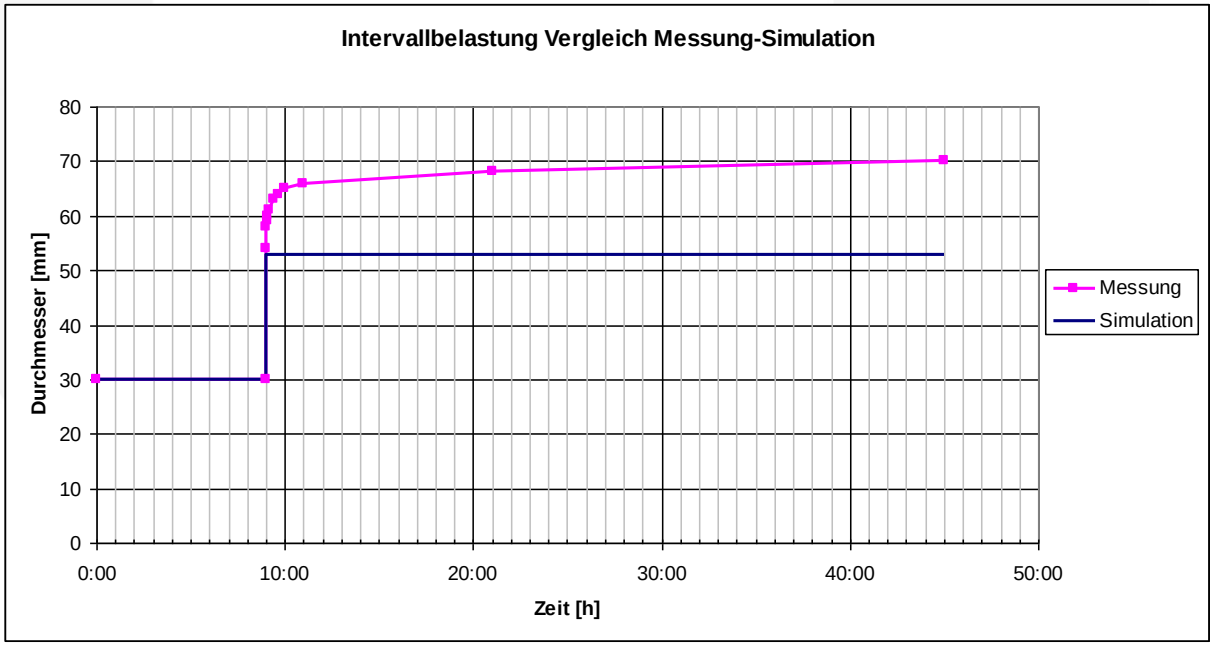


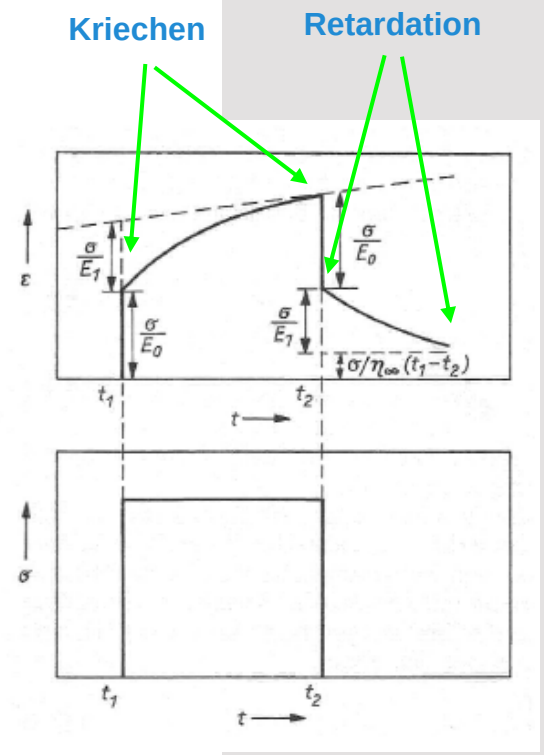


© 4a engineering GmbH, all rights reserved

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

Zusammenfassung

- **Langzeitbelastete Polymerwerkstoffe sind stark von viskoelastischem Materialverhalten geprägt.**
- **Einfache Anpassung eines 3-Parameter Kriechmodells (Mat_115 MAT_UNIFIED_CREEP) an Werkstoffmessdaten.**
- **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