

## Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialwissenschaft

– 9 –

### Mechanische Eigenschaften. Rheologische Eigenschaften

erarbeitet von: Gergely AGÓCS, Ferenc TÖLGYESI  
5. November 2020.

Kapitel des  
Lehrbuches:  
18

FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

1

## Viskoelastizität

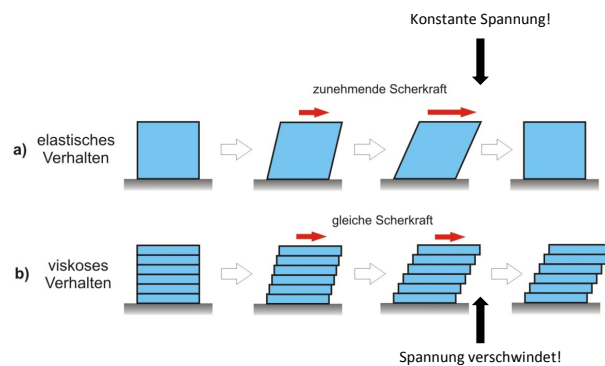


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

2

## Vergleich des elastischen und viskosen Verhaltens

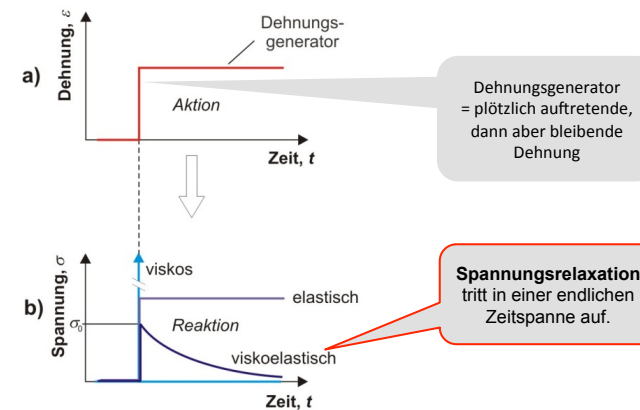


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

3

## Definition der Viskoelastizität

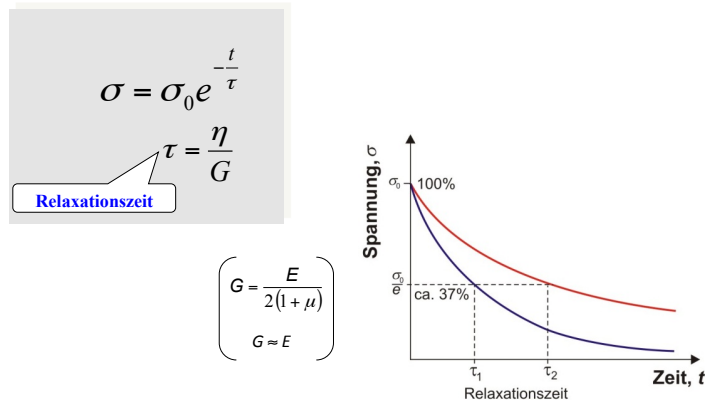


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

4

## Spannungsrelaxation

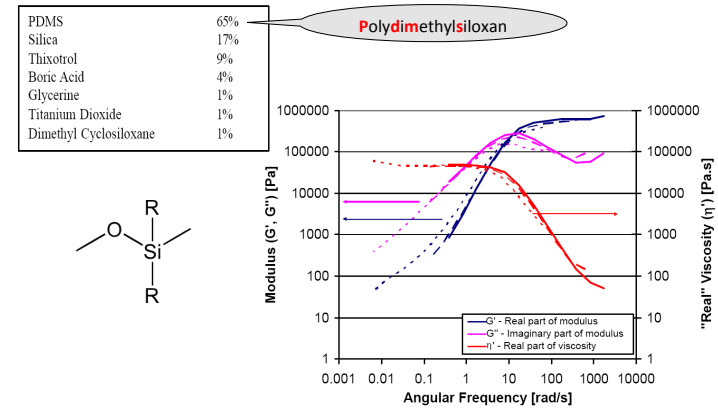


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

5

## Beispiel: intelligente Knete



FAFA\_DE

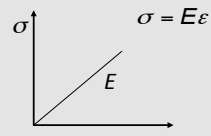
9 | Rheologische Eigenschaften

6

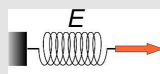
## Modelle

### Idealer elastischer Körper (Ideale Feder)

- Der Körper ist in einem breiten Bereich elastisch und gilt das **hookesche Gesetz** für ihn:



- Kraft ist notwendig zum Aufrechterhalten des Deformationszustandes
- Die Deformation tritt prompt auf.



Hookescher Körper

FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

7

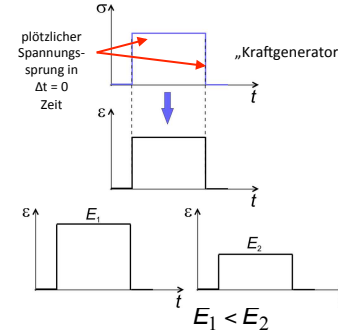
## Ideal elastischer Körper

### Test mit dem Kraftgenerator:

#### Kriech- oder Retardationsexperiment

Äußere Spannung (Kraft), wie folgt, gegeben.

Wie ändert sich die Dehnung?

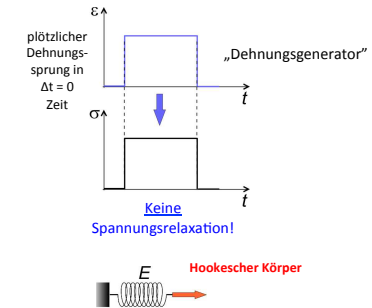


### Test mit dem Dehnungsgenerator:

#### Relaxationsexperiment

Dehnung (Formänderung), wie folgt, gegeben.

Wie ändert sich die Spannung?



FAFA\_DE

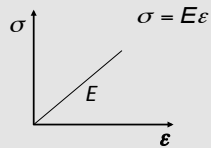
9 | Rheologische Eigenschaften

8

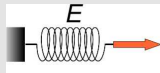
## Modelle

### Idealer elastischer Körper (Ideale Feder)

- Der Körper ist in einem breiten Bereich elastisch und gilt das **hookesche Gesetz** für ihn:



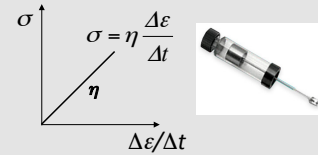
- Kraft ist notwendig zum Aufrechterhalten des Deformationszustandes
- Die Deformation tritt prompt auf.



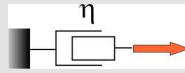
Hookescher Körper

### Idealer viskoser Körper (Idealer Dämpfer)

- Der Körper ist in einem breiten Bereich viskos und gilt das **newtonsche Reibungsgesetz** für ihn:



- Kraft ist notwendig nur zur Deformation
- Zur Deformation ist Zeit nötig.



Newtonscher Körper

FAFA\_DE

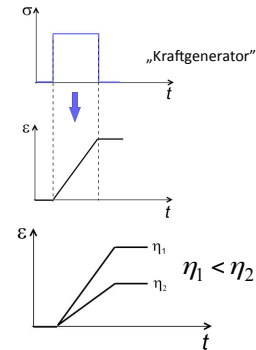
9 | Rheologische Eigenschaften

9

## Ideal viskoser Körper

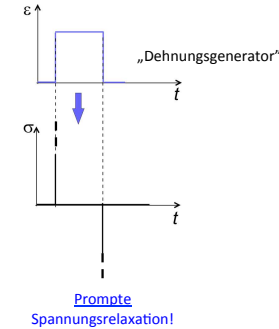
Äußere Spannung (Kraft), wie folgt, gegeben.

Wie ändert sich die Dehnung?



Dehnung (Formänderung), wie folgt, gegeben.

Wie ändert sich die Spannung?

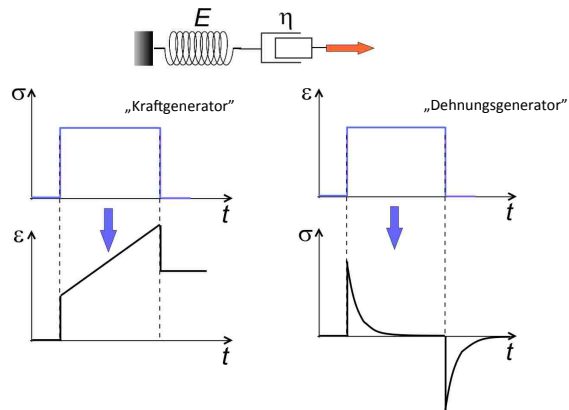


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

10

## Viskoelastische Modelle: Maxwell-Modell

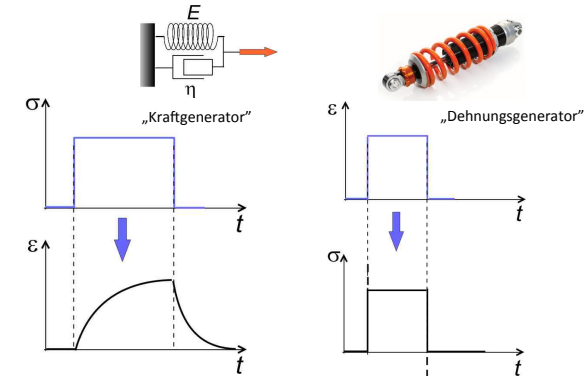


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

11

## Viskoelastische Modelle: (Kelvin)–Voigt-Modell

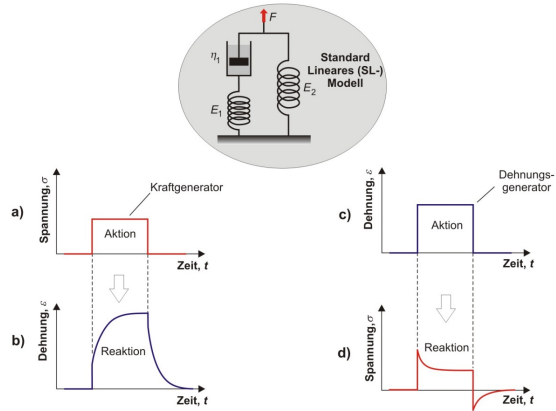


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

12

## Standard Lineares Modell (Zener<sub>m</sub>-Modell)

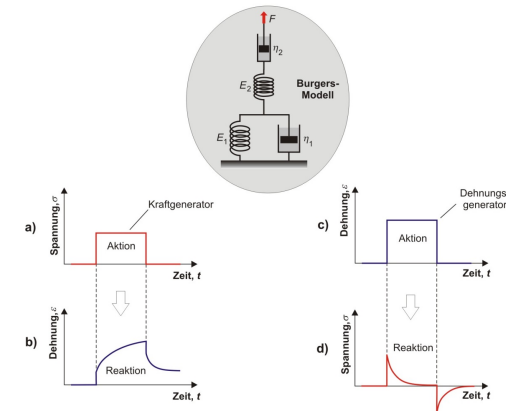


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

13

## Burgers-Modell



FAFA\_DE

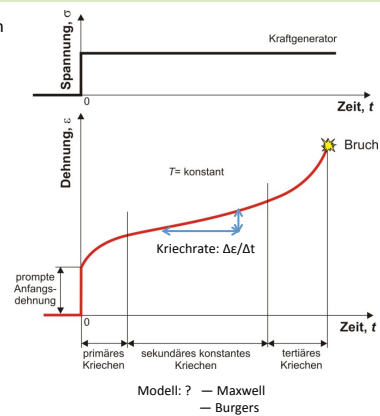
9 | Rheologische Eigenschaften

14

## Viskoelastische Erscheinungen 1: Kriechen

Stetige Deformation bei langandauernden konstanten Belastungen.

- alle Metalle
- alle Polymere
- eine Zahl von Keramiken (inkl. Beton)
- Holz
- Schnee

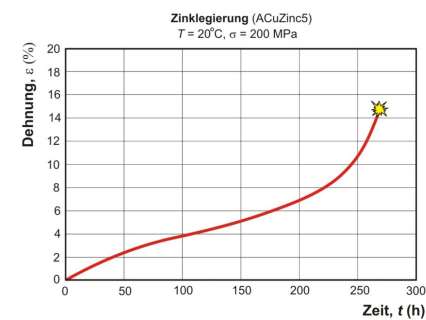


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

15

## Kriechen: Beispiel



Hängt ab von:

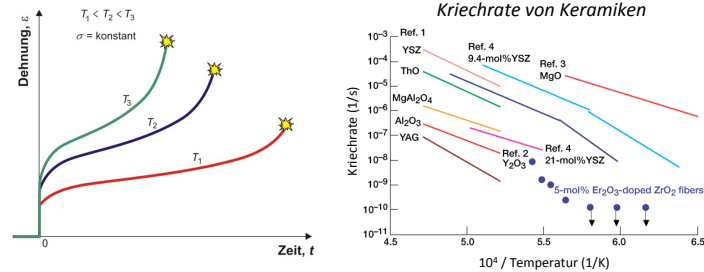
- Temperatur
- Spannung (Belastung)
- Zeit
- Werkstoff

FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

16

## Kriechen: Temperaturabhängigkeit



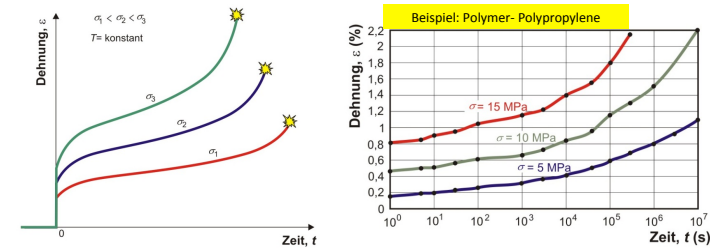
bei Metallen: das Kriechen ist  
bei  $T > 0,4T_o$   $T$  signifikant

FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

17

## Kriechen: Belastungsabhängigkeit



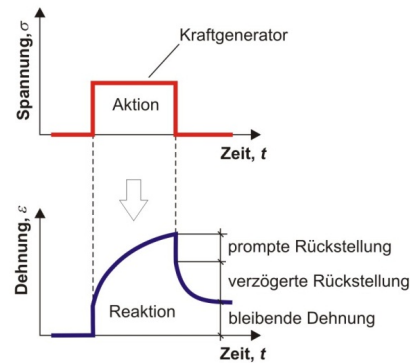
FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

18

## Viskoelastische Erscheinungen 2: Relaxation

Langsame Formänderung (Rückstellung) nach  
Ende der Belastung.

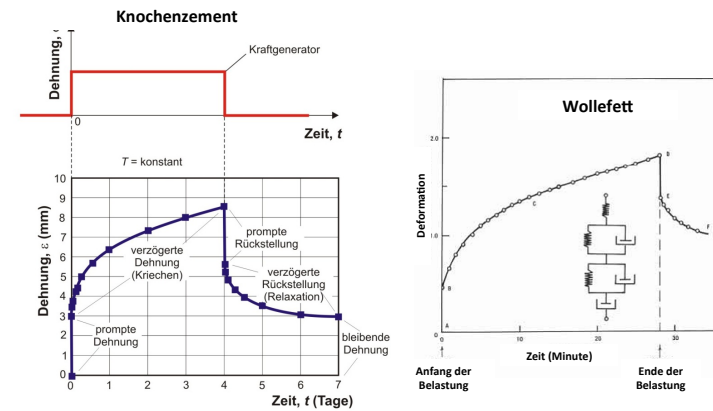


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

19

## Relaxation: Beispiele



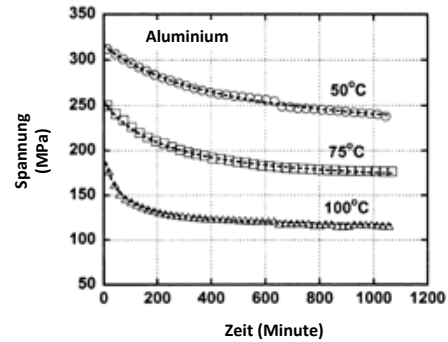
FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

20

## Spannungsrelaxation: Beispiel

Spannungsabnahme bei konstanter Deformation



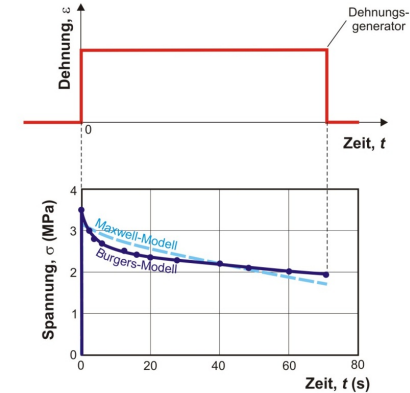
FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

21

## Spannungsrelaxation: Beispiel

Film aus myofibrillaren Proteinen:

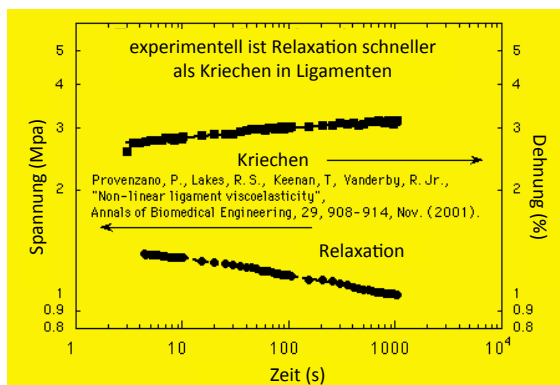


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

22

## Kriechen und Relaxation von Ligamenten

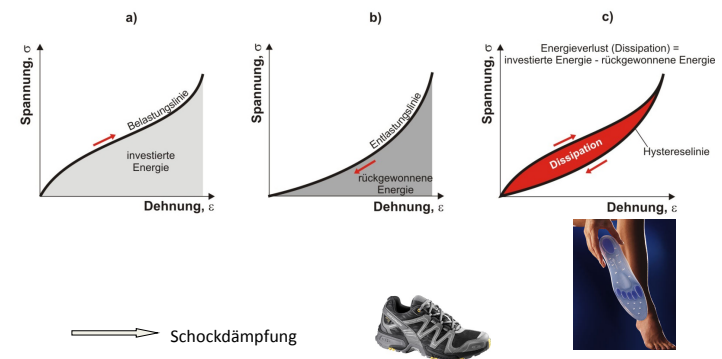


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

23

## Hysterese

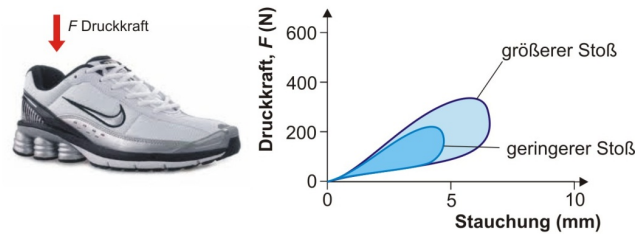


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

24

## Hysterese: Beispiel

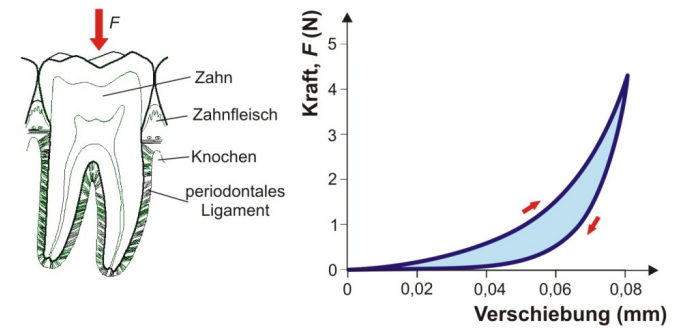


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

25

## Hysterese: periodontales Ligament

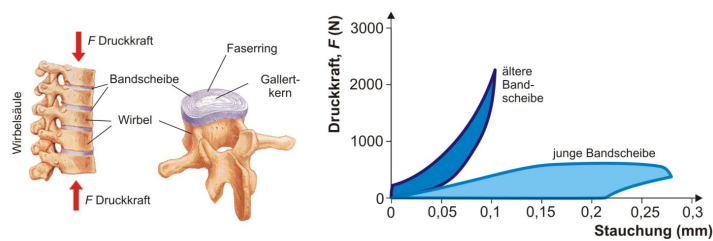


FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

26

## Hysterese: Bandscheibe



Hausaufgaben:

Nächste  
Vorlesung:  
Kapitel  
19

FAFA\_DE

9 | Rheologische Eigenschaften

27