



Physikalische Grundlagen der Kieferorthopädie

Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde 14.

1

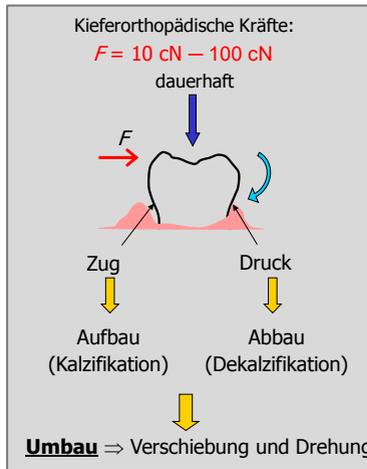
Orthodontie



2

Mechanismus der Zahnbewegung

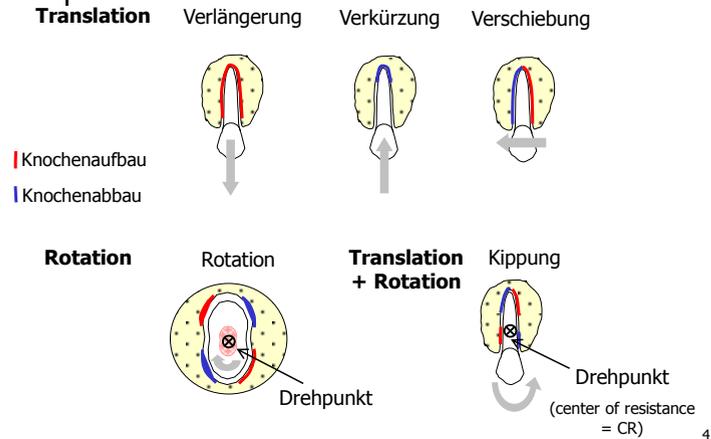
Ruhekräfte:  
 $F = 1-10 \text{ cN}$   
 dauerhaft  
 ↓  
 keine Wirkung



Kaukräfte:  
 $F = 100-800 \text{ N}$   
 $t \leq 1 \text{ s}$   
 Wenn dauerhaft,  
 ↓  
 $t = 3-5 \text{ s}$ : Schmerz  
 $\approx$  Stunde: Schädigung  
 7-14 Tage: Lockerung des Zahnes

3

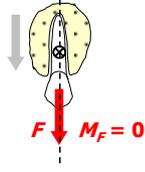
Bewegungsformen



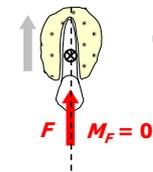
4

## Kräfte, Drehmomente zur Bewegung

### Verlängerung

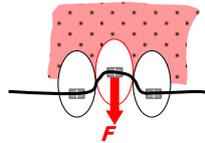


### Verkürzung



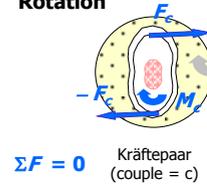
Einzelkraft ohne Drehmoment  
 ⇒ Translation ohne Rotation

Zum Beispiel:



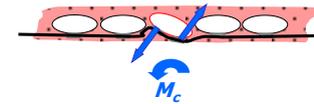
5

### Rotation



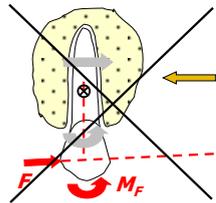
Kräftepaar, d. h. Drehmoment ohne resultierende Kraft  
 ⇒ Rotation ohne Translation

Zum Beispiel:

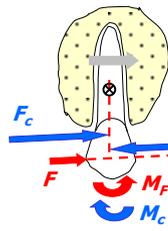


6

### Verschiebung



Bei einer einzigen Kraft würde die Translation mit einer Rotation verbunden auftreten.

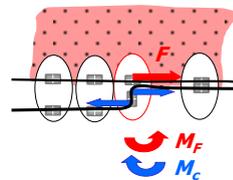


Kraft+Kräftepaar  
 ⇒ Translation ohne Rotation

Nur Translation

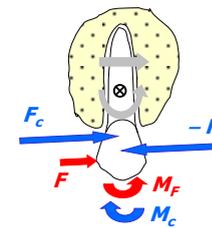
$$M_c = M_F \quad (M_c / M_F = 1)$$

Zum Beispiel:



7

### Kippung



Kraft	Kräftepaar	$\Sigma F$	$\Sigma M$
-	✓	0	$M_c$
✓	-	F	$M_F$
✓	✓	F	$M_F - M_c$

Rotation

Kippung: Translation+ Rotation

kontrollierte Kippung:

Translation+ Rotation

•  $0 < M_F - M_c \quad (M_c / M_F < 1)$

•  $M_F - M_c < 0 \quad (1 < M_c / M_F)$

8

Zum Beispiel:

9

### Kieferorthopädisches Gerät

Das kieferorthopädische Gerät ist ein elastischer Körper, der Kräfte und Drehmomente an die Zähne abgibt, nachdem er aktiviert (deformiert) wurde. Die während der Deformation eingespeiste Energie wird zurückgeliefert („mechanische Batterie“).

**Aktivierung:**  
Deformierung (Energiezufuhr)

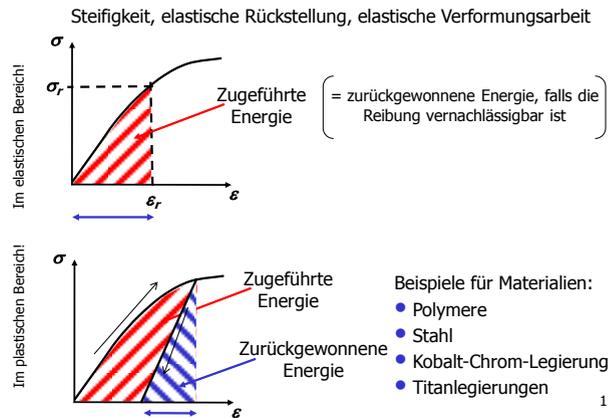
**Verwendung:**  
**Rückstellung** (Energierückgabe)

Kraft  
Belastungs-kurve  
Entlastungs-kurve  
Deformation

10

### Relevante mechanische Eigenschaften

- Materialeigenschaften:



11

- Geometrie: Form, Größe (z.B. Dicke, Länge, ...)

- Dehnung/Stauchung  $F = E \cdot \frac{A}{l} \cdot \Delta l$   $W = \frac{1}{2} E \cdot \frac{A}{l} \Delta l^2$
- Abbiegung  $F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s$   $W = \frac{1}{2} 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s^2$
- Torsion  $M = G \cdot \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$

Steifigkeit des Körpers  
(Dehnsteifigkeit, Biegesteifigkeit, Torsionssteifigkeit)

#### Probleme:

- Reibung



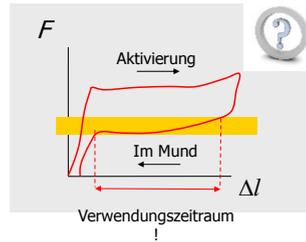
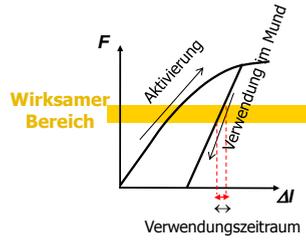
Reibungskraft ( $F_R$ ):

$$F_R = f \cdot F_N$$

12

## Die abgegebene Kraft (Rückstellkraft)

- Größe?
- Zeitdauer?



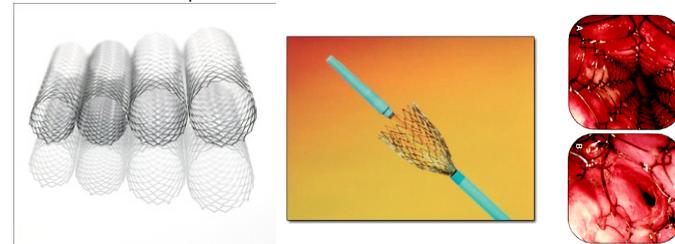
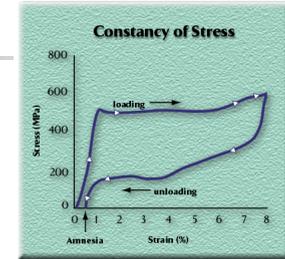
13

## Superelastische Stoffe

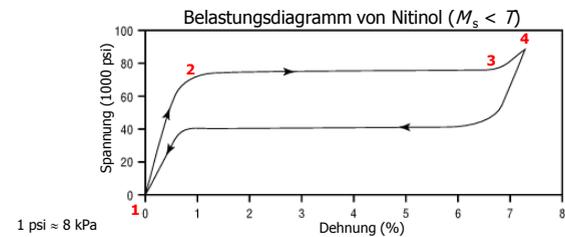
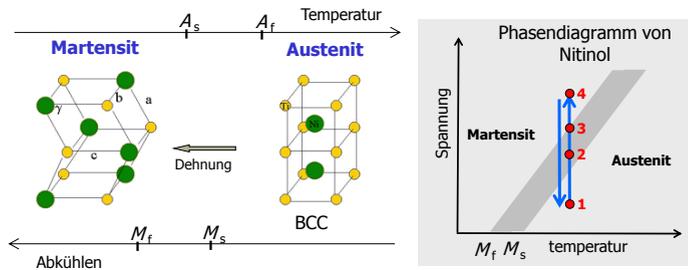
Ni+Ti Cu+Al+Zn Cu+Al+Ni

**Nitinol** (Nickel-Titanium Naval Ordnance Laboratory)

- superelastisch (pseuodolastisch)
- Formgedächtnis
- biomechanische Kompatibilität
- Biokompatibilität



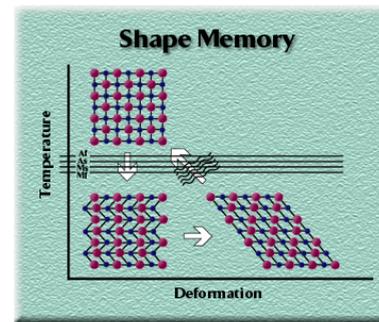
14



1 psi ≈ 8 kPa

15

## Formgedächtnis



- Einweg-
- Zweiweg-

FLEXINOL®  
Actuator Wire



16