



## Biomechanik 4: Physikalische Grundlagen der Kieferorthopädie



Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen  
Materialkunde 14.

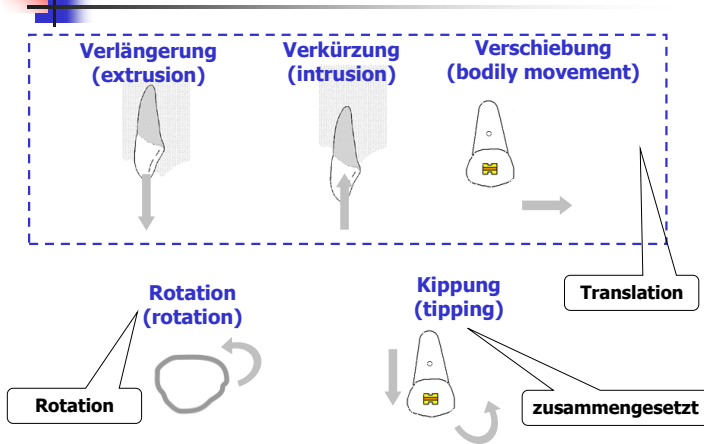
1

## Orthodontie



2

## Bewegungsformen



3

## Mechanismus der Zahnbewegung

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

keine  
Wirkung

Kieferorthopädische Kräfte:

$F = 10 \text{ cN} - 400 \text{ cN}$   
dauerhaft

$F \rightarrow$

$M$

Zug

Aufbau  
(Kalzifikation)

Druck

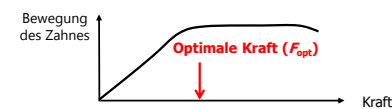
Abbau  
(Dekalzifikation)

**Umbau**  $\Rightarrow$  Verschiebung und Drehung

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



4

## Mechanismus der Bewegungen

### Translation

Verlängerung

Verkürzung

Verschiebung

Knochenaufbau

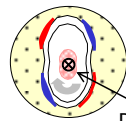
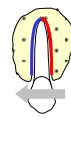
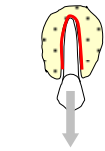
Knochenabbau

### Rotation

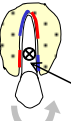
Rotation

Translation + Rotation

Kippung



Drehpunkt

Drehpunkt  
(center of resistance  
= CR)

5

### Rotation

Rotation

$$\Sigma F = 0$$

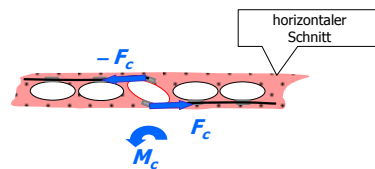
Kräftepaar  
(couple = c)

$$F_{\text{opt}} = 35-60 \text{ cN}$$

Eine mögliche Realisierung:

horizontaler Schnitt

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

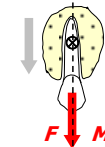


7

## Kräfte, Drehmomente zur Bewegung

Verlängerung

Verkürzung

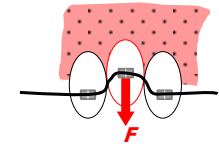


$$F_{\text{opt}} = 35-60 \text{ cN}$$

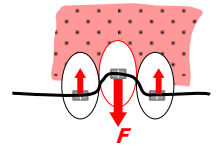
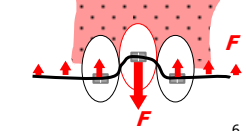
$$F_{\text{opt}} = 10-20 \text{ cN}$$

Einzelkraft ohne  
Drehmoment  
⇒ Translation ohne  
Rotation

Eine mögliche Realisierung:



Vorsicht: Kraft-Gegenkraft!

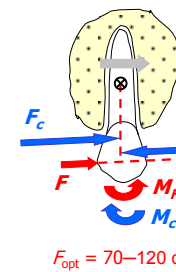
Es ist wichtig die Gegenkraft  
zu verteilen:

6

### Verschiebung

Verschiebung

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



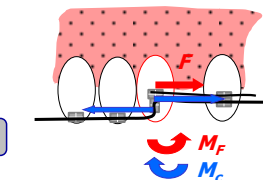
Kraft+Kräftepaar  
⇒ Translation ohne  
Rotation

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma F = F \\ \Sigma M = 0 \end{array} \right\} \text{Nur Translation}$$

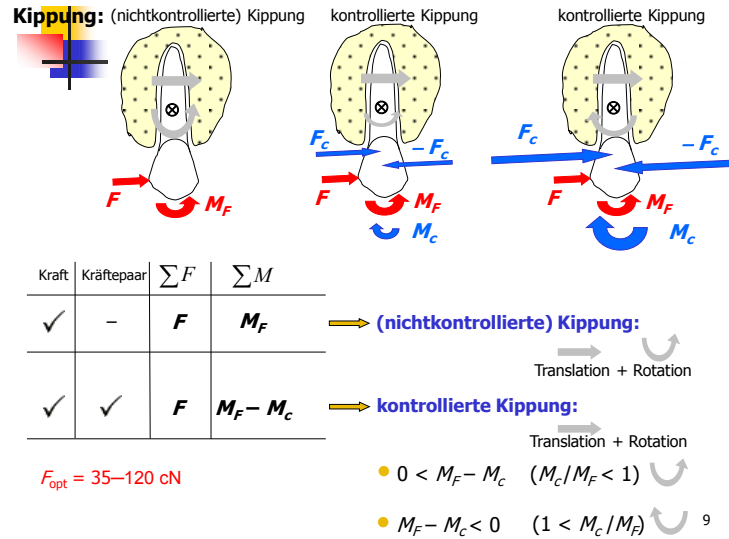
$$M_c = M_F \quad (M_c / M_F = 1)$$

$$F_{\text{opt}} = 70-120 \text{ cN}$$

Zum Beispiel:

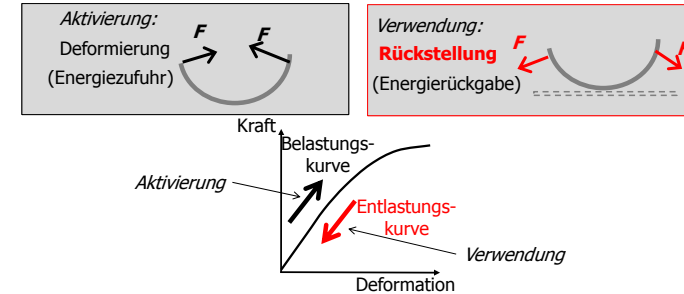
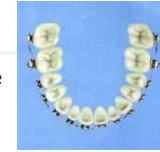


8



## 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**“).



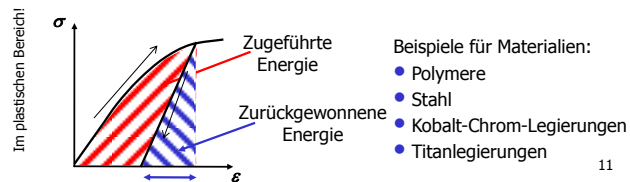
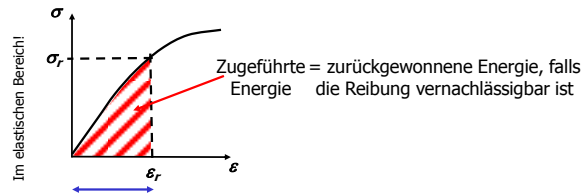
- Wichtige Fragen:
- Wie groß ist die abgegebene Kraft – wovon hängt sie ab?
  - Wie lang wirkt die Kraft?

10

## Relevante mechanische Eigenschaften

- Materialeigenschaften:

Steifigkeit, elastische Rückstellung, elastische Verformungsarbeit



11

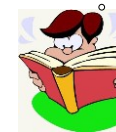
- Geometrie: Form, Größe (z.B. Dicke, Länge, ...)

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

Steifigkeit des Körpers  
(Dehnsteifigkeit, Biegesteifigkeit, Torsionssteifigkeit)

### Probleme:

- Reibung

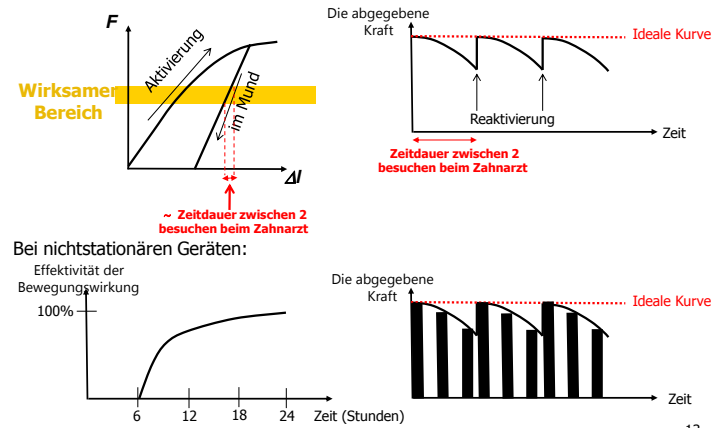


Reibungskraft ( $F_R$ ):

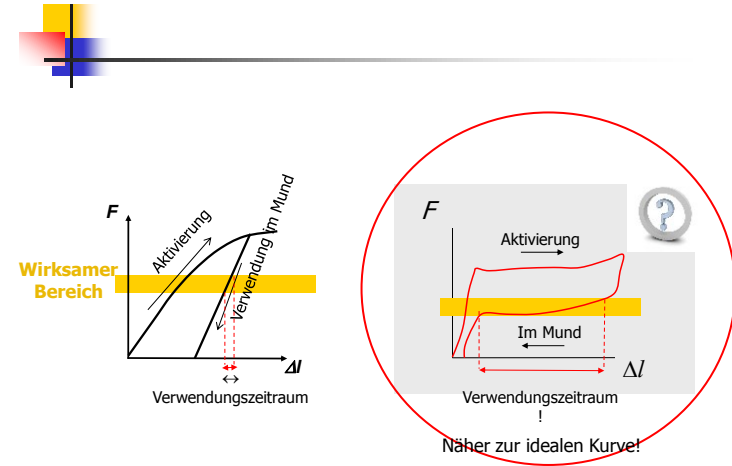
$$F_R = f \cdot F_N$$

12

## Die zeitliche Änderung der abgegebenen Kraft



13



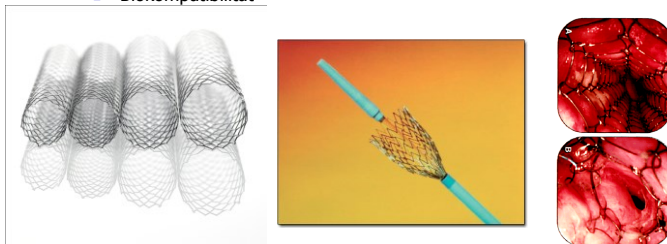
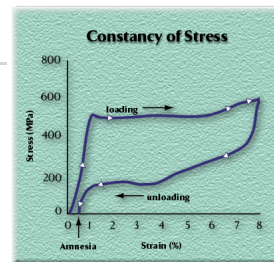
14

## Superelastische Stoffe

Ni+Ti    Cu+Al+Zn    Cu+Al+Ni

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

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



15