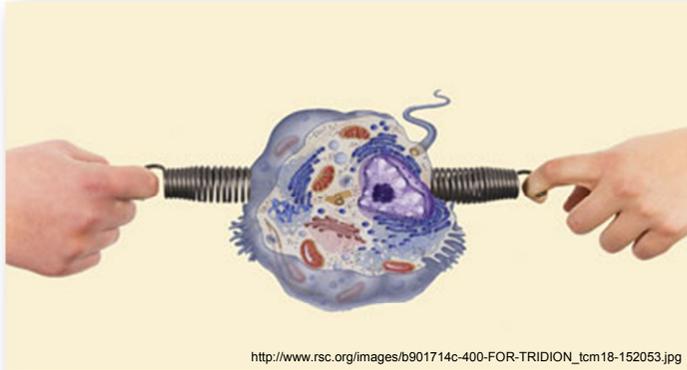


Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Materialkunde 12.

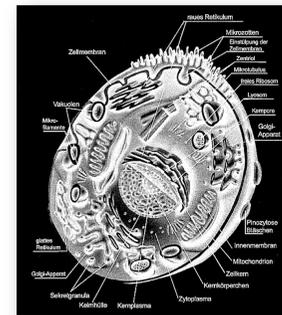
Mechanische Eigenschaften von Zellen



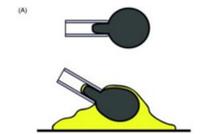
http://www.rsc.org/images/b901714c-400-FOR-TRIDION_tcm18-152053.jpg

Balázs Kiss – 25.11.2013

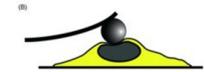
Historie, Messmethoden



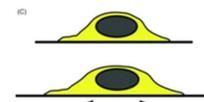
Mikropipette
Aspiration



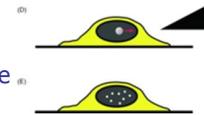
Rasterkraft-
mikroskop



Substrat-
dehnung



aktive
passive
Mikro-
rheologie



- Zelle: kolloidales System
- membrangebundene Organellen
- Zytoskelett: 1-2% Volumenanteil

Das Zytoskelett

- Netzwerk im Zytoplasma eukaryotischer Zellen
- Große Ende-Ende Abstand: Netzwerkbildung schon bei niedrigen Konzentrationen

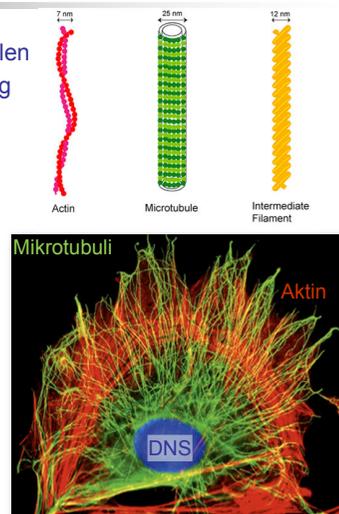
Drei Klassen von Zytoskelettfilamenten:

- A. Aktinfilamente
- B. Intermediärfilamente
- C. Mikrotubuli

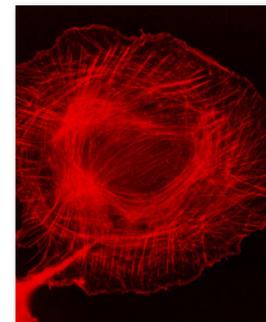
Polymere: aus Monomer-Untereinheiten

Rolle:

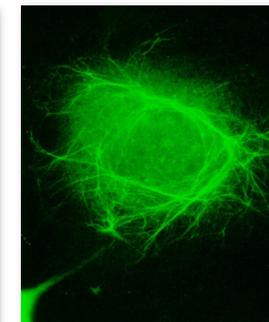
- A. Bewegung, Formveränderung
- B. Zellteilung
- C. Intrazellulärer Transport



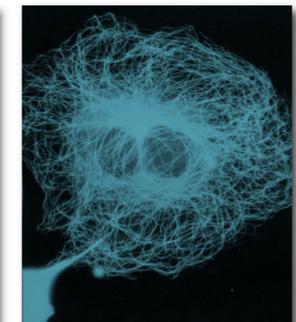
Zytoskelettfilamente



Aktin
(Rhodamin-Phalloidin)



Vimentin
(anti-Vimentin)

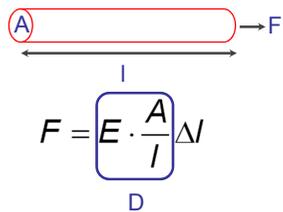


Mikrotubuli
(GFP-Tubulin)

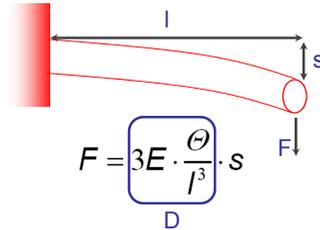
Polymermechanik: Hookesche Elastizität

- Die Federkonstante ($D=F/\Delta l$) ist nicht nur materialabhängig.
- Die Federkonstante (D) hängt von Formparametern des Körpers und der Krafrichtung ab.

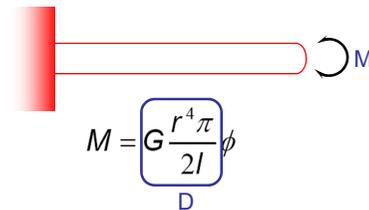
Dehnung:



Abbiegung:

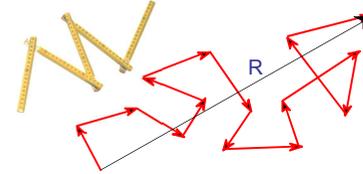


Torsion:



Polymermechanik: FJC, WLC

„Freely Jointed Chain“

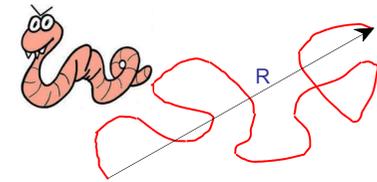


ein, aus Elementarvektoren (die ihre Richtung behalten) aufgebautes Polymer

l = Korrelationslänge
(durchschnittliche Länge der Elementarvektoren)

$Nl = L$ = Konturlänge
 R = Ende-Ende-Abstand

„Worm-Like Chain“



l_p = Persistenzlänge (wie lange behält ein Molekül seine Richtung)

$$\langle \cos \theta(s) \rangle = \exp\left(-\frac{s}{l_p}\right)$$

- falls $s \ll l_p$: $\cos(\theta) \sim 1$, und $\theta(s) \sim 0^\circ$
- falls $s \gg l_p$: $\cos(\theta) \sim 0$, also $\theta(s)$ liegt zwischen 0° und 360°

Polymermechanik: „thermische“ Elastizität

$$l_p = \frac{E\Theta}{k_B T}$$

Θ = Flächenträgheitsmoment
(bei einem Stab mit Kreisquerschnitt: $\Theta = r^4 \pi / 4$)

Spröde Kette

$$l_p \gg L$$



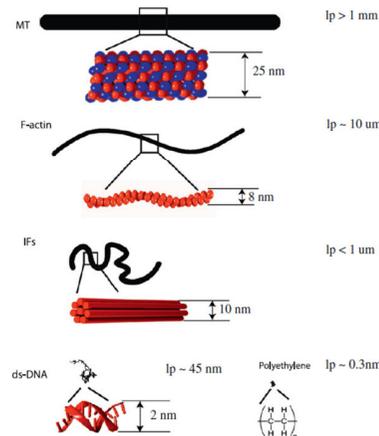
Semiflexible Kette

$$l_p \sim L$$



Elastische Kette

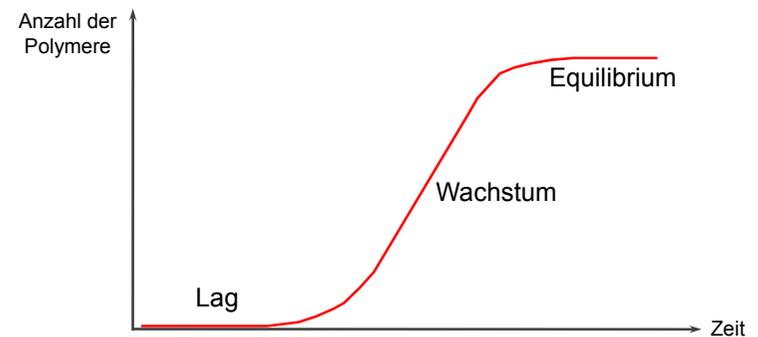
$$l_p \ll L$$



Wie entstehen die Polymere?

Die Phasen der Polymerisation:

1. Lag Phase: Nukleation (Verzögerungsphase)
2. exponentielles Wachstum
3. Equilibrium (Gleichgewicht)



Polymerisationsgleichgewichte

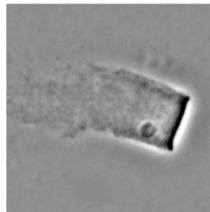
1. Wahres Equilibrium



2. Dynamische Instabilität: katastrophische Depolymerisation nach ein langsames, aber kontinuierliches Wachstum

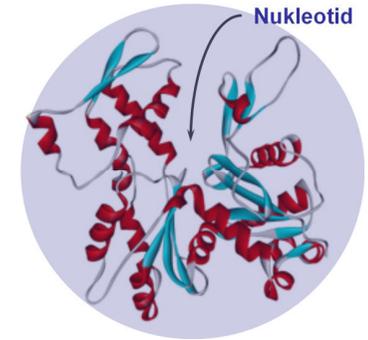


3. Treadmilling:

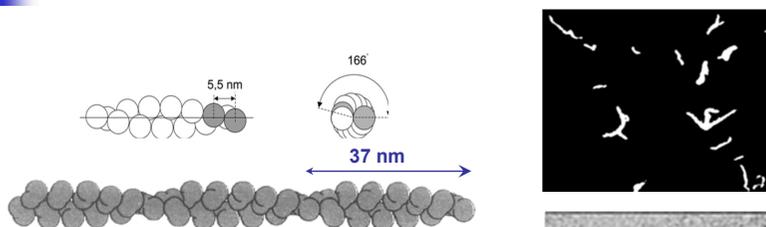


Aktin monomer (G-Aktin)

- **Aktin:** 5% der Gesamteiweiß (in eukaryotischen Zellen)
- **Untereinheit:** globuläres (G-) Aktin
- 43 kDa
- 1 verbundenes Adenosin Nukleotid (ATP oder ADP)

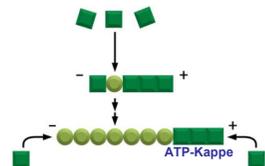


Aktin Filament (F-Aktin)



Struktur und Eigenschaften:

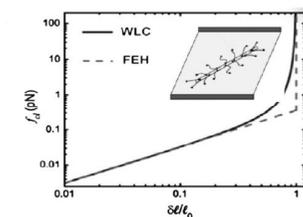
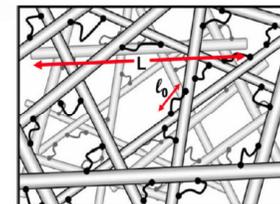
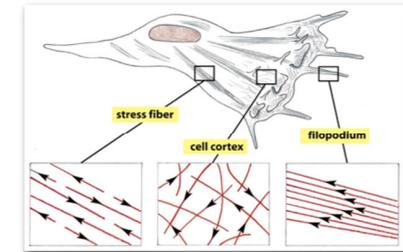
- ~7 nm dick, die Länge beträgt *in vitro* grob 10 μm , *in vivo* 1-2 μm
- Verhält sich als semiflexible Polymerkette (Persistenzlänge: ~10 μm)
- Polarisierte Struktur: (+)-Ende, (-)-Ende
- Asymmetrische Polymerisation: ATP-„Kappe“



Aktin Filament (F-Aktin)

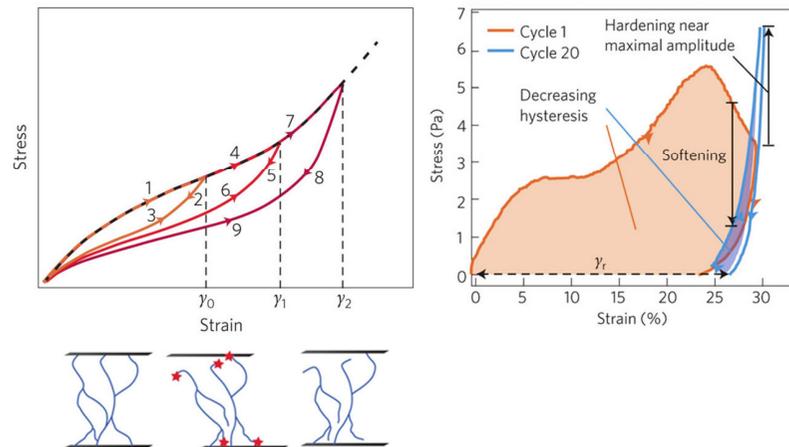
Rolle:

- Cortex (Rand der Zelle)
- Stressfasern
- Zellverlängerungen (lamellipodia, filopodia, microspikes, focal contacts, Invagination)
- Mikrovilli
- elastische Linkermoleküle: Verfestigung bei höherer Belastung:



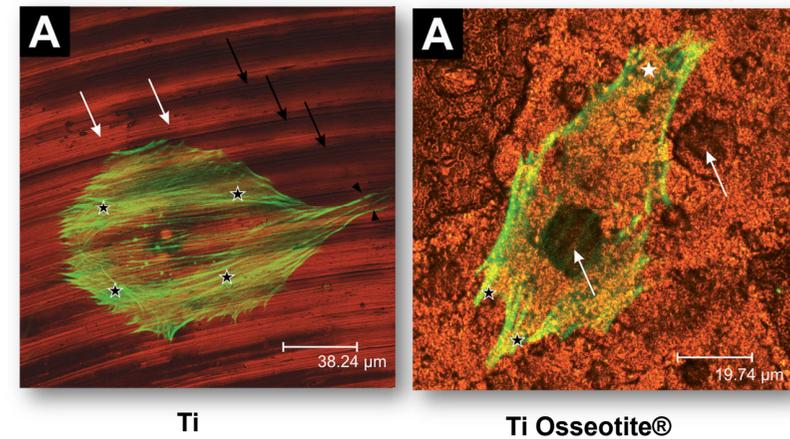
Mullins-Effekt

- zyklische Belastung verursacht Erweichung beim Aktin:



13

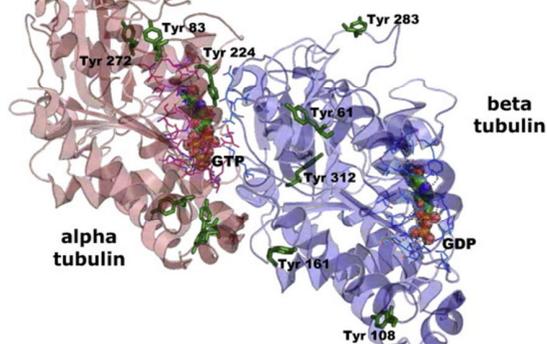
Aktinnetz auf Ti Implantaten



14

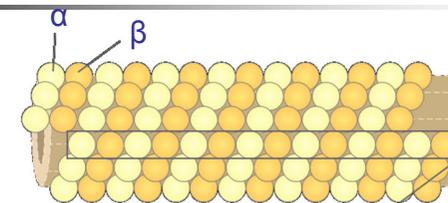
Mikrotubuli

- Untereinheit:** Tubulin
- 10-20% der Gesamteiweißgehalt von Nervengeweben
- α - und β -Tubulin
- 1 verbundenes Guanosin Nukleotid (GTP oder GDP)



15

Das Mikrotubulus



- ~25 nm dick, röhrenförmig
- 13 Protofilamente
- spröde Polymerkette (Persistenzlänge: ein Paar mm!)
- polarisierte Struktur:
 - (+)- Ende: schneller Aufbau, (β -Tubulin)
 - (-)- Ende: langsamer Aufbau, (α -Untereinheit)
- GTP-Kappe

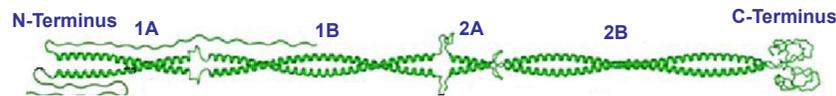
16

Intermediärfilamente

- Durchmesser: 10-12 nm
- chemisch widerstandsfähig
- fibrilläres Monomer, Polymerisation ohne ATP/GTP
- die gewebespezifische Monomere unterscheiden sich in der Struktur der C-Termini:

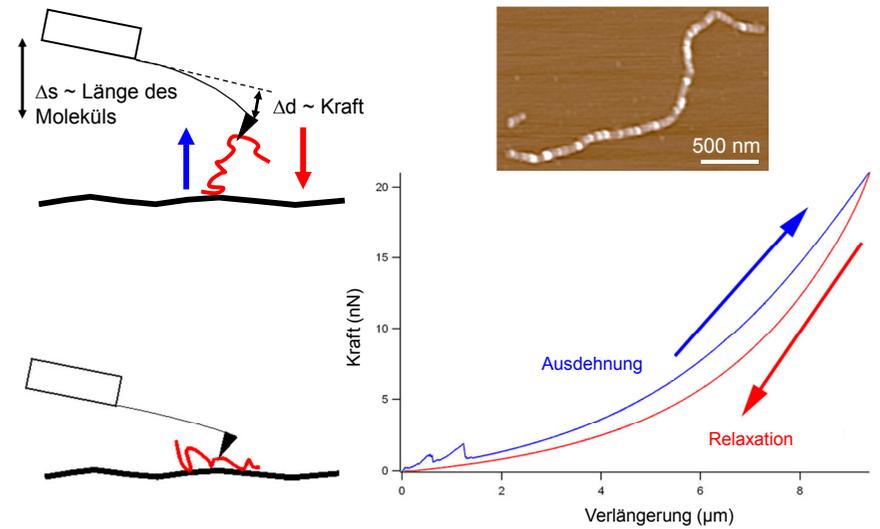
Epithelien	Keratine
Muskel	Desmin
Bindegewebe	Vimentin
Gliazellen	glial fibrillar acidic protein
Nervenzellen	Neurofilament

Struktur eines Dimer:



17

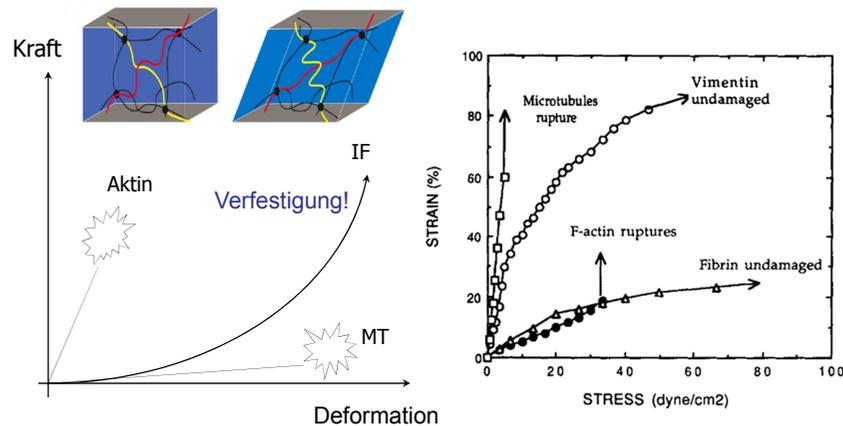
Ausdehnung von Einzelmolekülen (Desmin)



18

Vermutete Rolle der Intermediärfilamente :

mechanische Stabilität

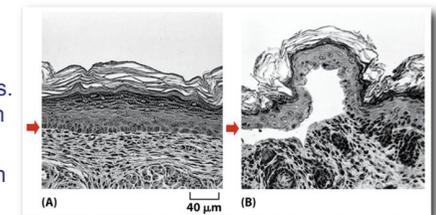


19

Gewebespezifische Rolle der IF

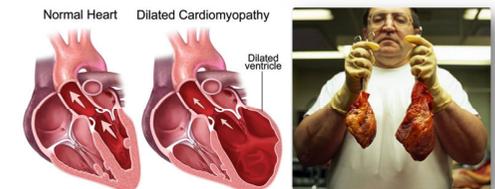
In Epithelien:

- Krankheitsbild: *epidermolysis bullosa simplex*. (Schmetterlingskrankheit) Bei milden mechanischen Einwirkungen (z.B. Reibung) entstehen Blasen und Wunden mit möglicher Narbenbildung
- Ursache: Mutation im Gen, die Keratin kodieren



Im Herzen:

- Krankheitsbild: *Kardiomyopathie*
- Ursache: Desmin Gen Mutation



20

Die Elastizität der lebendigen Geweben

