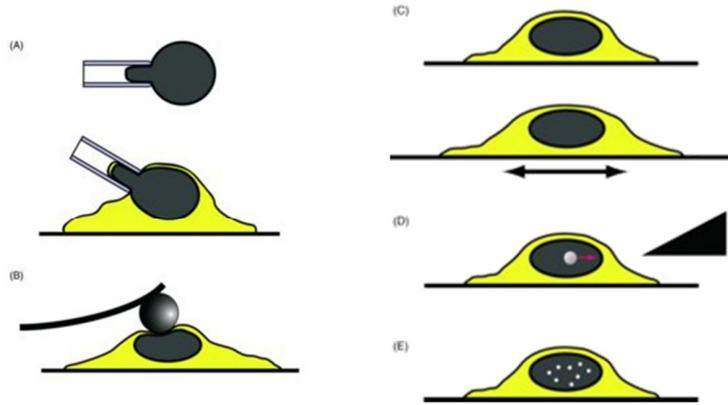
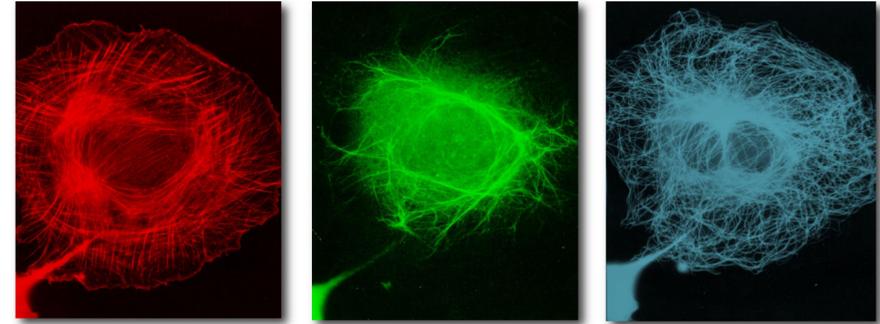


Mechanische Eigenschaften von Zellen



1

Zytoskelettfilamente



Aktin
(Rhodamin-Phalloidin)

Vimentin
(anti-Vimentin)

Mikrotubuli
(GFP-Tubulin)

2

Das Zytoskelett

Netzwerk im Zytoplasma eukaryotischer Zellen

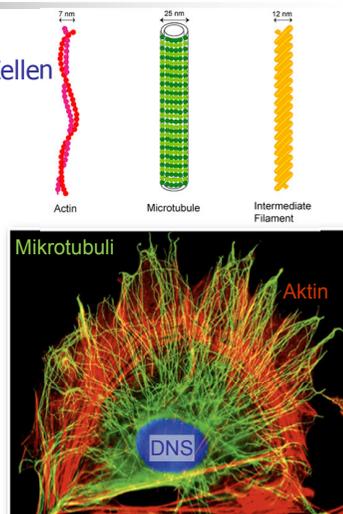
Drei Klassen von Zytoskelettfilamenten:

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

Polymere: aus Monomer-Untereinheiten

Rolle:

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



3

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:

$$F = E \cdot \frac{A}{l} \Delta l$$

Abbiegung:

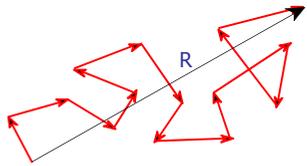
$$F = 3E \cdot \frac{\Theta}{l^3} \cdot s$$

Torsion:

$$M = G \frac{r^4 \pi}{2l} \phi$$

4

Polymermechanik: „thermische“ Elastizität



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

$l =$ **Korrelationslänge**

(durchschnittliche Länge der Elementarvektoren)

$Nl = L =$ **Konturlänge**

$R =$ **Ende-Ende-Abstand**

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

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

$\Theta =$ 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

$$l_p \ll L$$

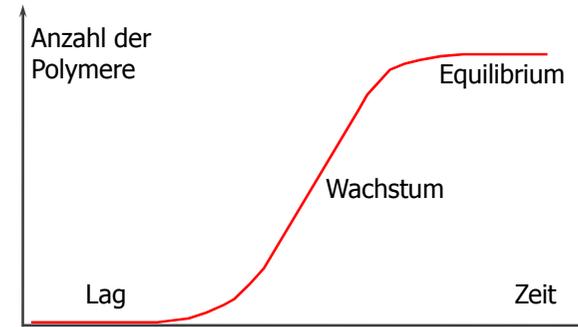


5

Wie entstehen die Polymere?

Die Phasen der Polymerisation:

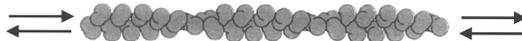
1. Lag Phase: Nukleation (Verzögerungsphase)
2. exponentielles Wachstum
3. Equilibrium (Gleichgewicht)



6

Polymerisationsgleichgewichte

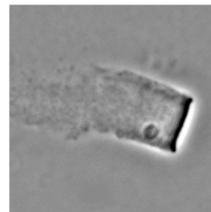
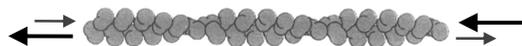
1. Wahres Equilibrium



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



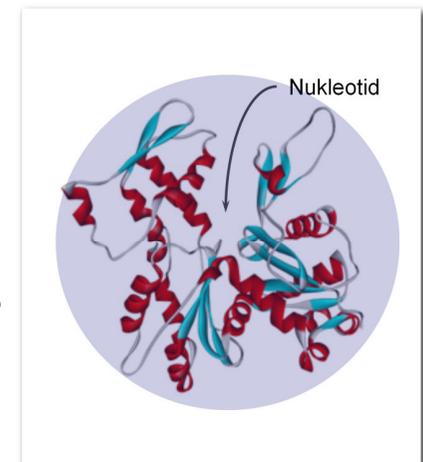
3. Treadmilling:



7

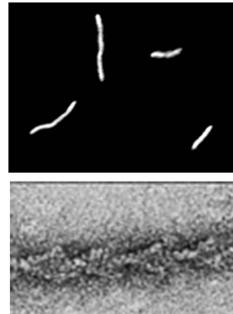
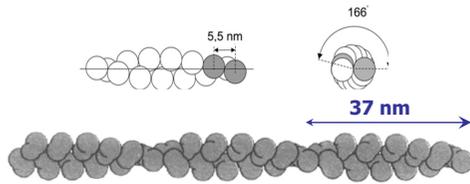
Aktin monomer (G-Aktin)

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



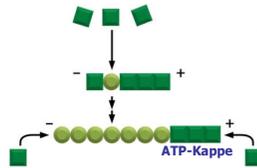
8

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 (Korrelationslänge: ~10 μm)
- Polarisierte Struktur: (+)-Ende, (-)-Ende
- Asymmetrische Polymerisation: ATP-„Kappe“

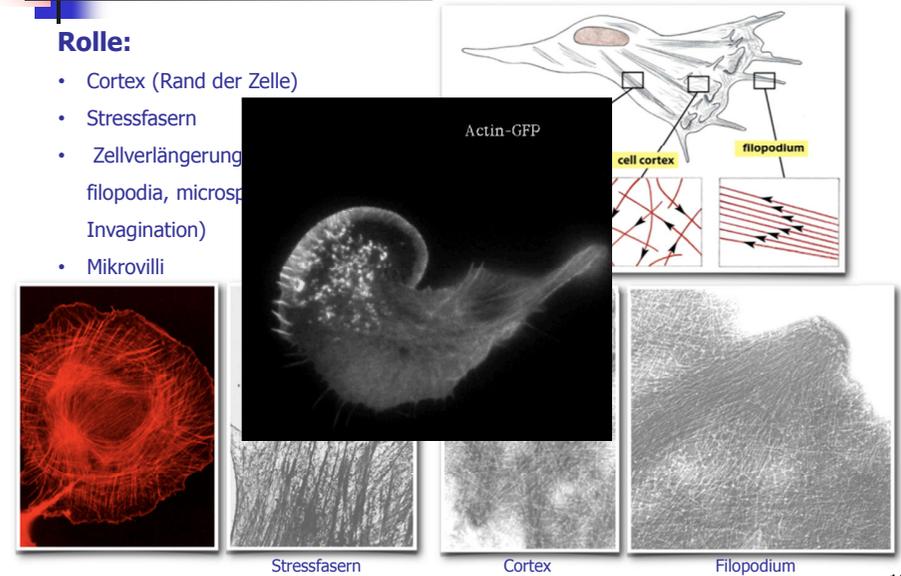


9

Aktin Filament (F-Aktin)

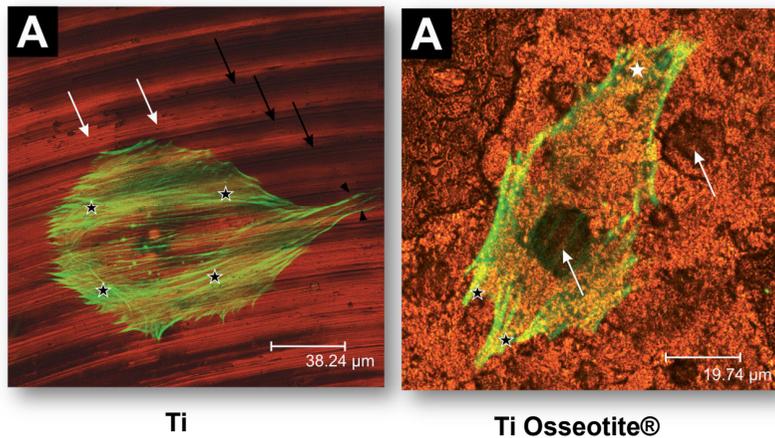
Rolle:

- Cortex (Rand der Zelle)
- Stressfasern
- Zellverlängerung (filopodia, microspikes, Invagination)
- Mikrovilli



10

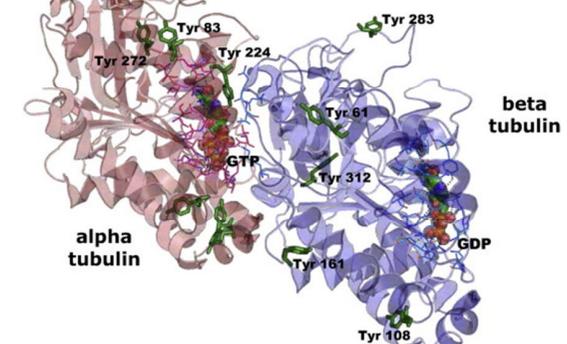
Aktinnetz auf Ti Implantaten



11

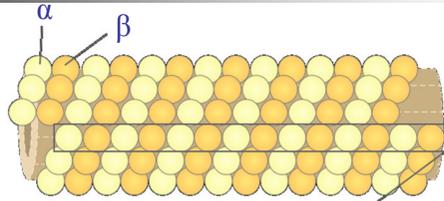
Mikrotubuli

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



12

Das Mikrotubulus



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

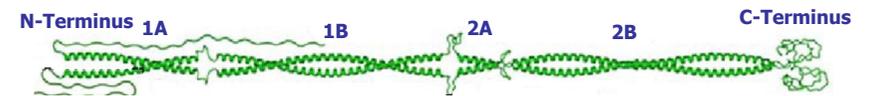
13

Intermediärfilamente

- Durchmesser: 8-10 nm
- chemisch widerstandsfähig
- fibrilläres Monomer, Polymerisation ohne ATP/GTP
- die gewebespezifische Monomere unterscheiden sich in der Struktur der C-Termini:

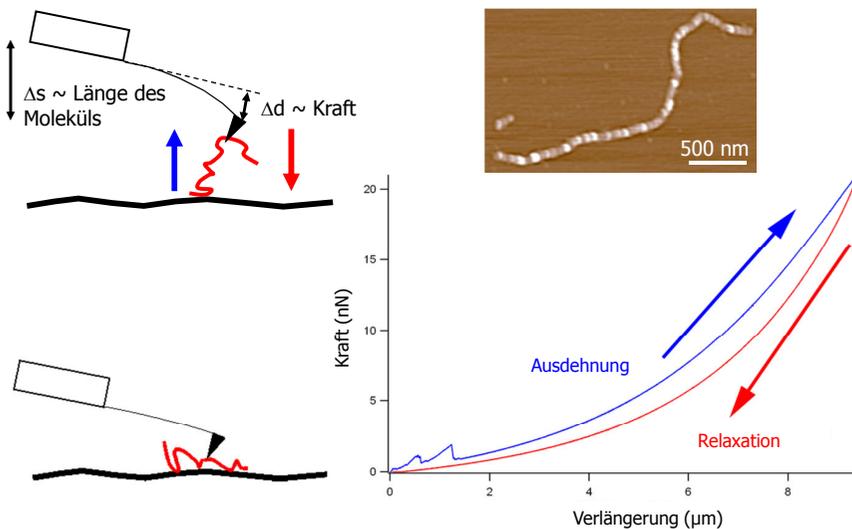
Epithelien	Keratine
Muskel	Desmin
Bindegewebe	Vimentin
Gliazellen	glial fibrillar acidic protein
Nervenzellen	Neurofilament

Struktur eines Dimer:



14

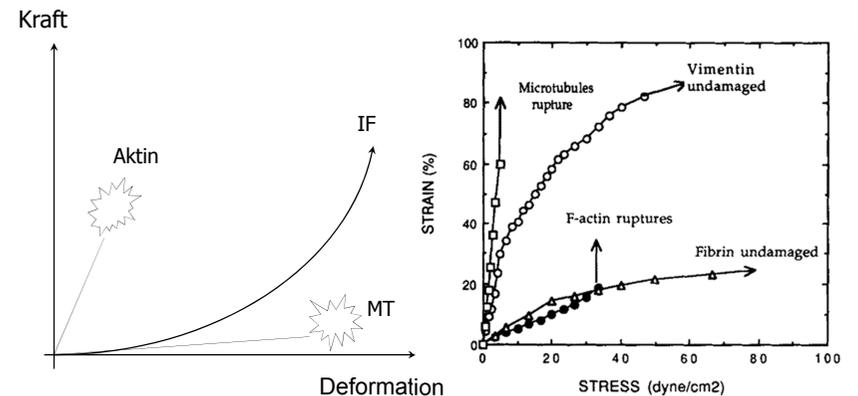
Ausdehnung von Einzelmolekülen (Desmin)



15

Vermutete Rolle der Intermediärfilamente :

mechanische Stabilität



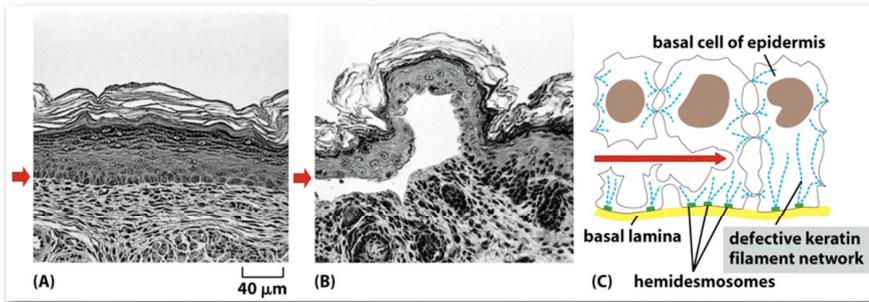
16

Gewebespezifische Rolle der Intermediärfilamente

gewebespezifische mechanische Stabilität

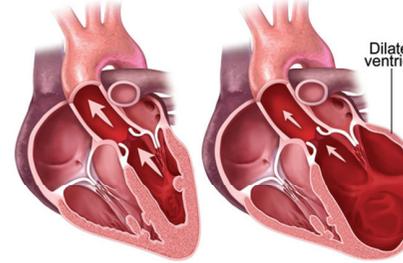
In Epithelien:

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



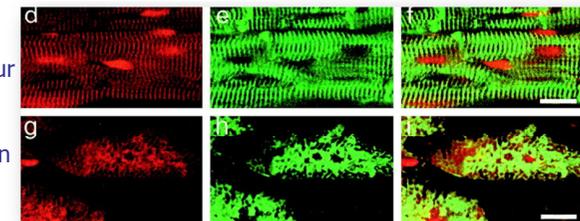
Kardiomyopathie wegen Desmin-Mutation

Normal Heart Dilated Cardiomyopathy

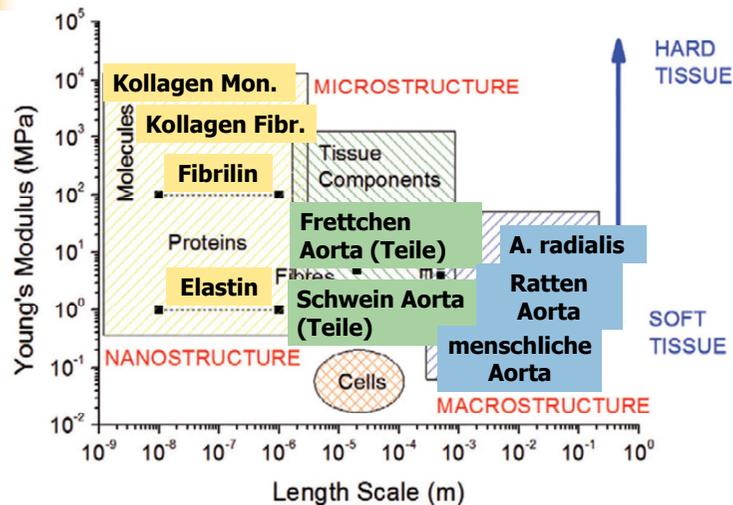


normale Herzmuskulatur

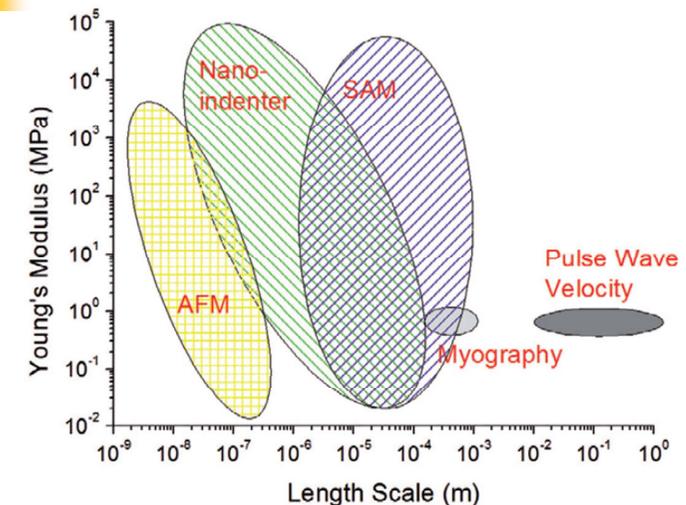
Mutation von Desmin



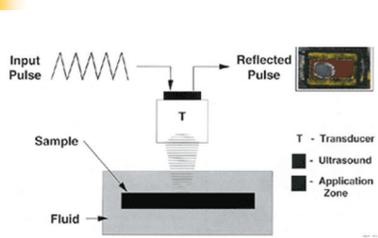
Die Elastizität der lebendigen Geweben



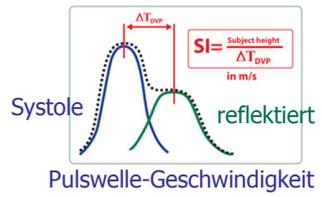
Untersuchungsmethoden



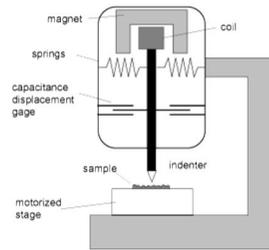
Untersuchungsmethoden



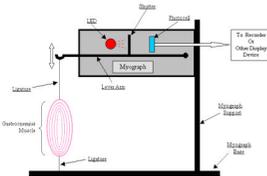
scanning acoustic microscope (SAM)



Pulswelle-Geschwindigkeit



Nanoindenter



Myograf