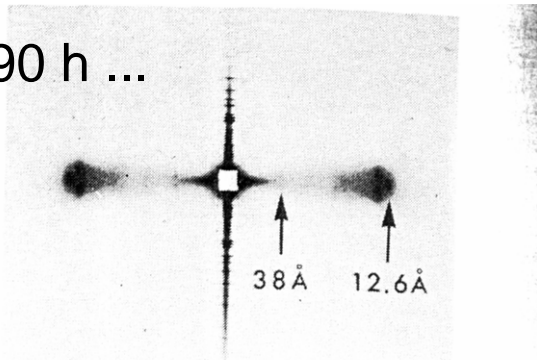
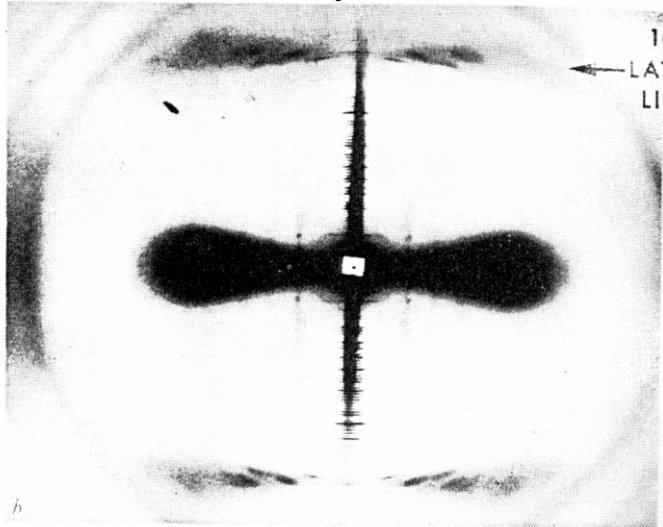


Röntgenstreuung an Collagen

1971, 90 h ...



A. Miller, J. S. Wray. *Nature* **230**, 437-439 (1971)

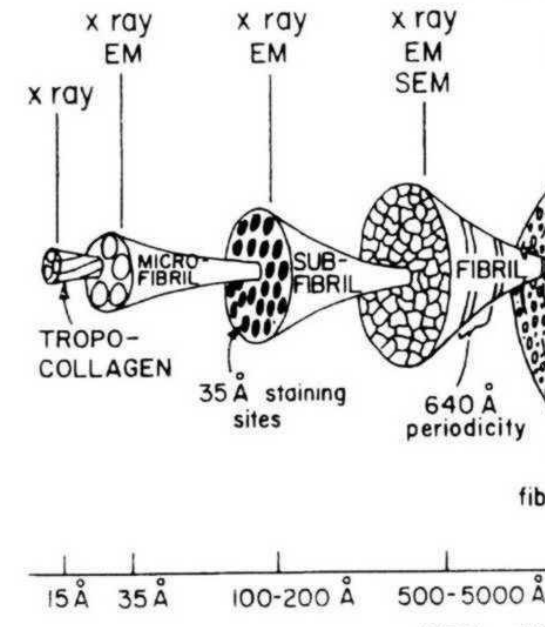


große Perioden

$$\Rightarrow \text{kleine } Q = \frac{2\pi}{d} = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \Theta$$

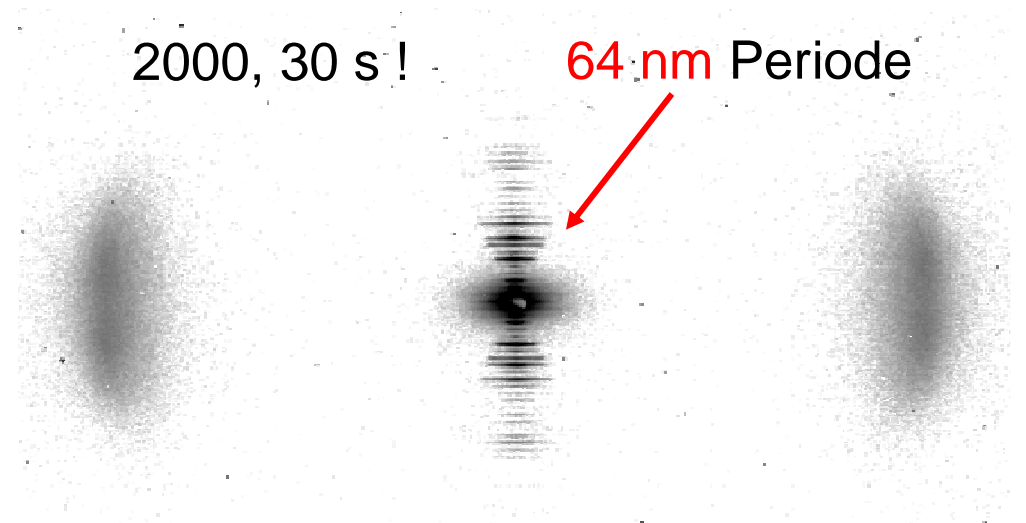
\Rightarrow kleine Winkel

„Kleinwinkelstreuung“



2000, 30 s !

64 nm Periode



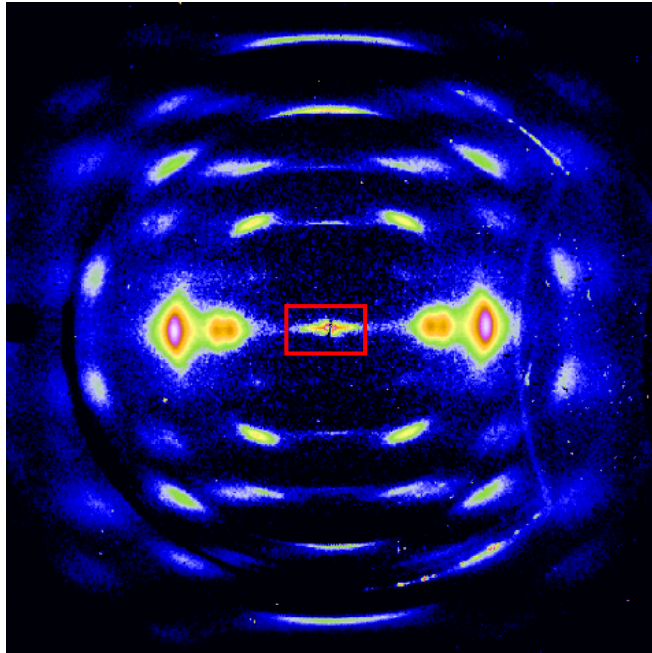
M. Müller, M. Burghammer, C. Riek. *Nucl. Instrum. Meth. A* **467-468**, 958-961 (2001)

M5: Kleinwinkelstreuung

- mit Röntgenstrahlung (**SAXS**) oder Neutronen (**SANS**)
- **Prinzip** wie bei Diffraktion: Form- und Strukturfaktor
- typische Dimensionen: 0,5 nm (Elementarzelle) bis 1 μm (Lichtstreuung!)
- Streuung an **Inhomogenitäten / Dichtefluktuationen**:
 - Poren
 - Ausscheidungen
 - Kolloide
 - Polymerstrukturen (Komposite!)
 - ...
- SAXS: Elektronendichte- } **Kontrast**
- SANS: Streulängendichte- }



(Zellulosefaser)



Diffraktion:

$$I(Q) = \left| \sum_l f(Q) e^{i\vec{Q} \cdot \vec{R}_l} \right|^2$$

Atomformfaktor,
Elektronenverteilung

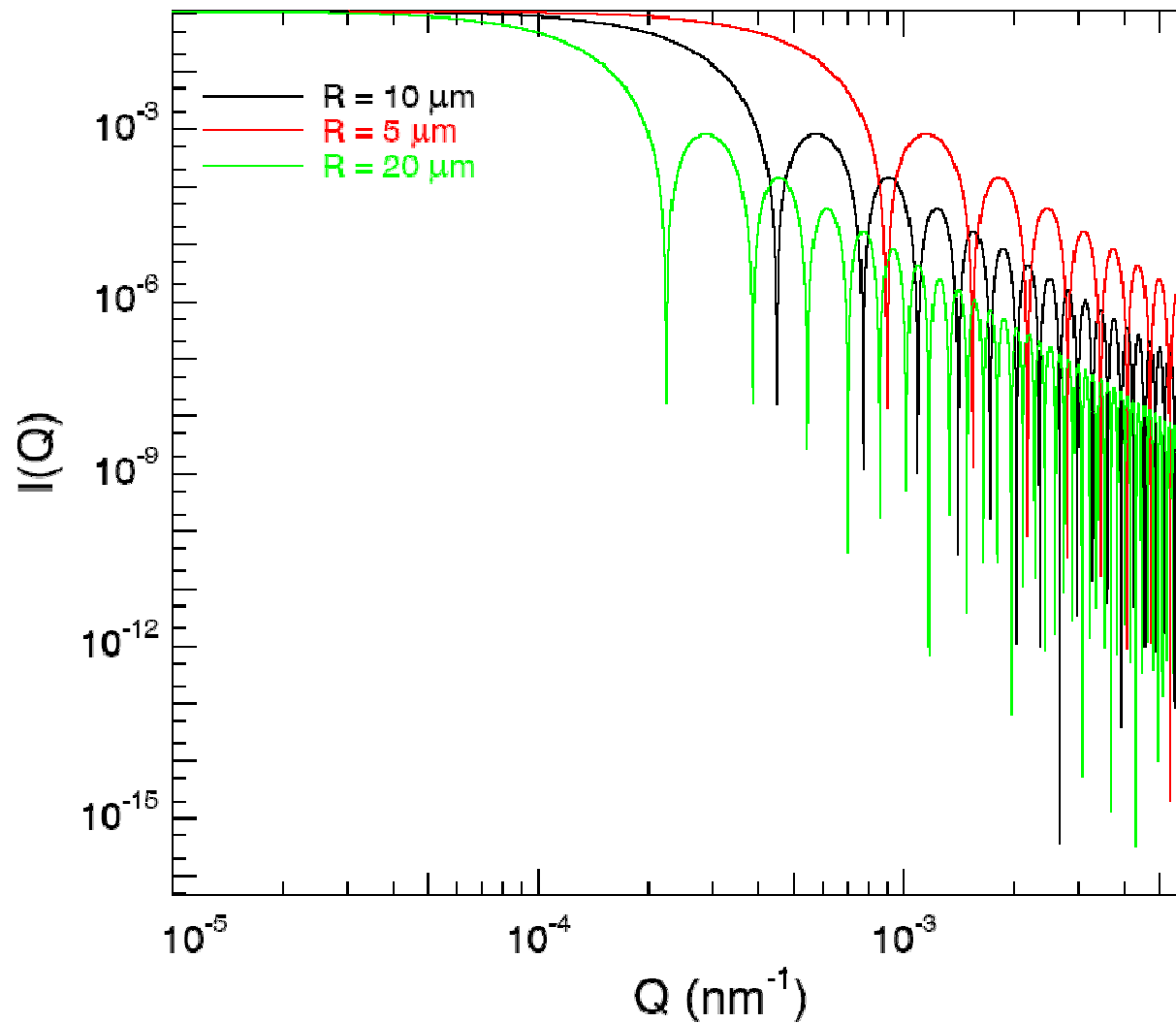
Gitter-Interferenz \Rightarrow
Braggreflexe

Kleinwinkelstreuung:

- *Formfaktor* = Fourier-Transformierte von (Einzel-)Teilchen
- *Strukturfaktor* = Interpartikel-Interferenz

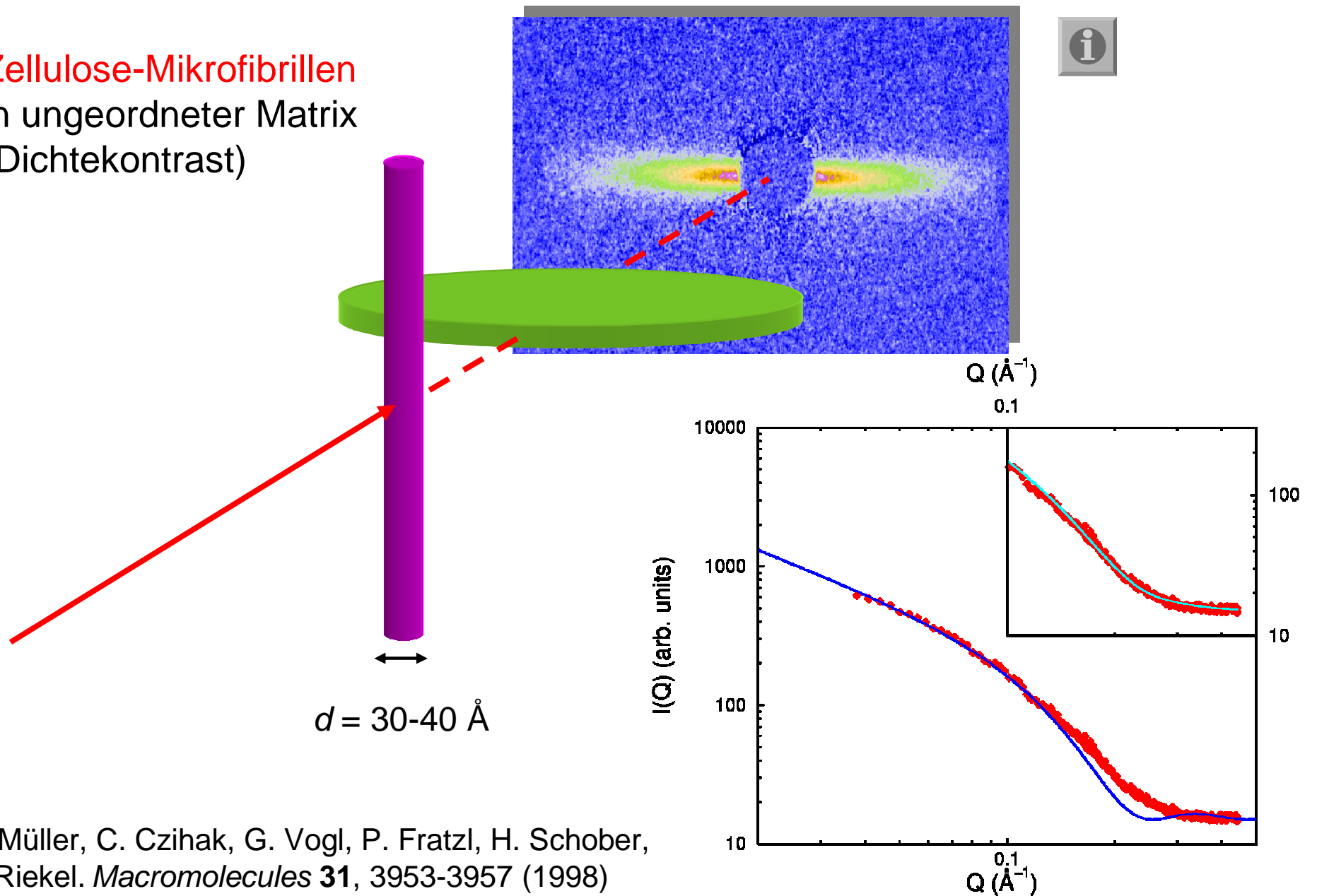
Formfaktor (verdünnte Systeme)

Kugel:
$$I(Q) \propto \left| \frac{3(\sin QR - QR \cos QR)}{Q^3 R^3} \right|^2$$



Kleinwinkelstreuung an Zellulose-Mikrofibrillen

Zellulose-Mikrofibrillen
in ungeordneter Matrix
(Dichtekontrast)

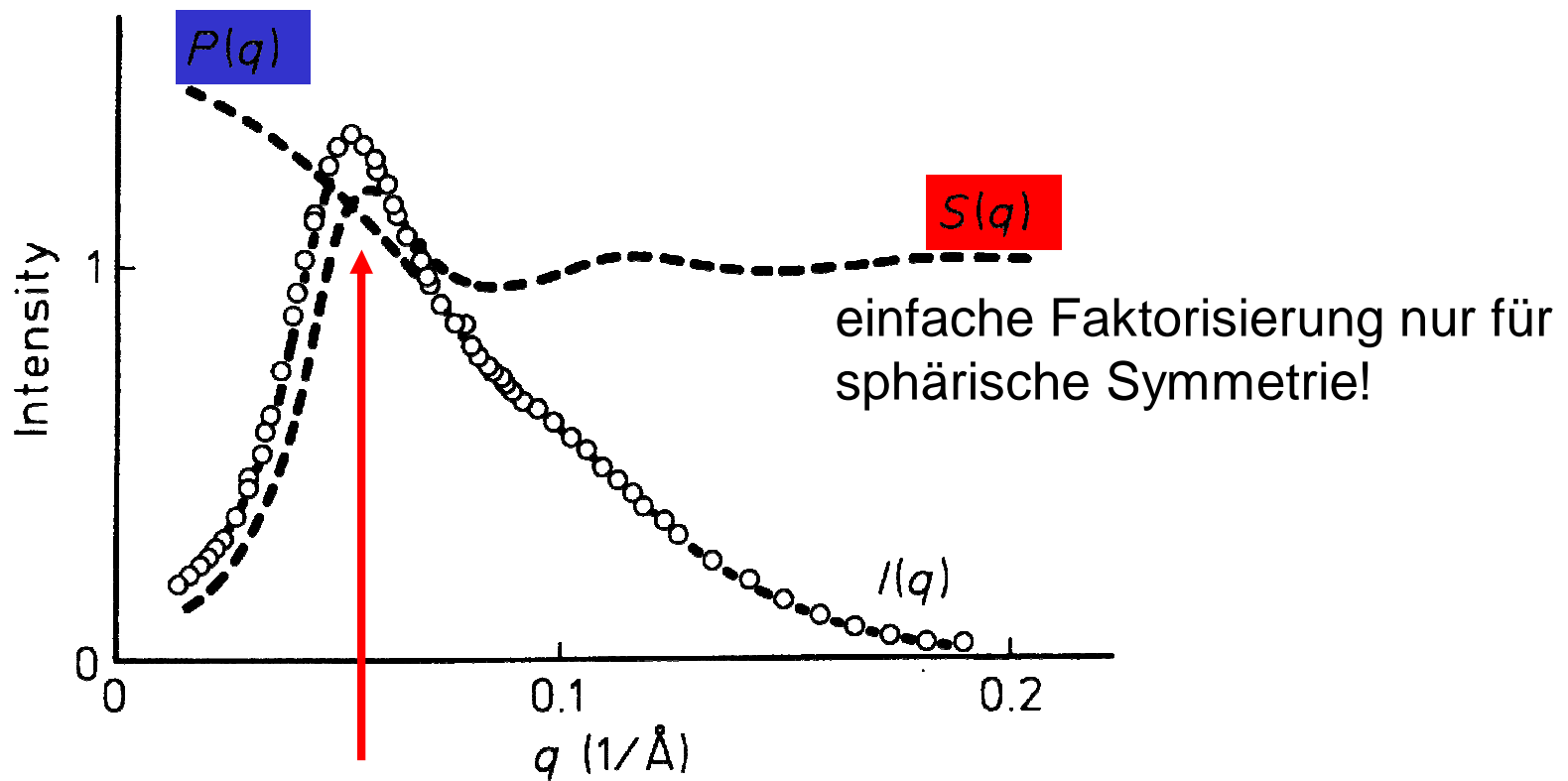


M. Müller, C. Czihak, G. Vogl, P. Fratzl, H. Schober, C. Riekell. *Macromolecules* **31**, 3953-3957 (1998)

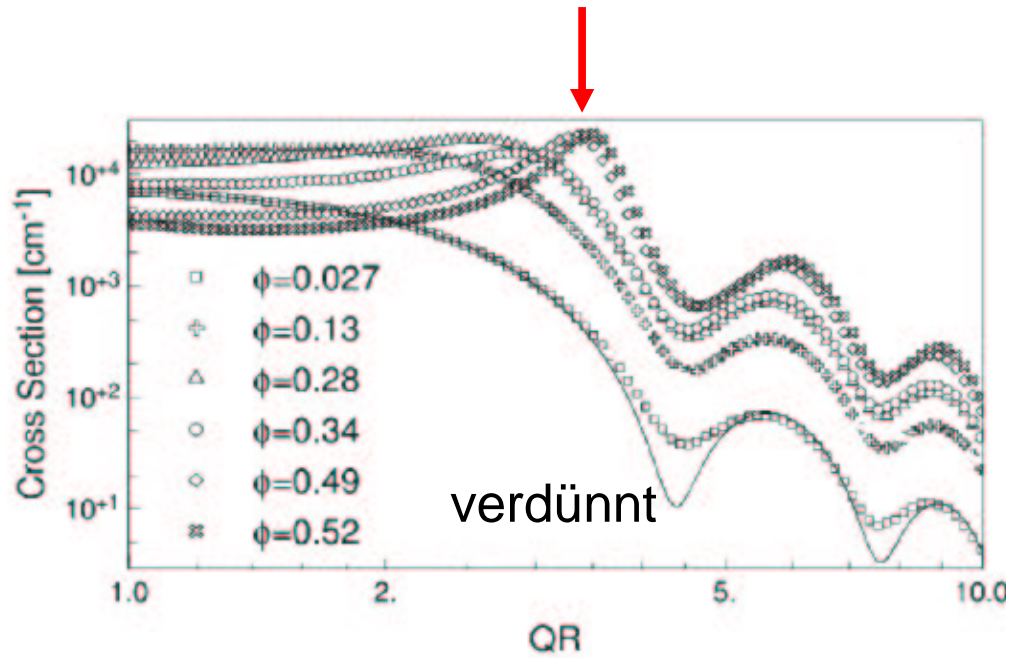
Formfaktor und Strukturfaktor (konzentrierte Systeme)

Prinzip wie bei Diffraktion:

- **Formfaktor** (wie eben): Einzelteilchen, **verdünnte** Systeme
- **Strukturfaktor**: Abstände zwischen Teilchen in Größenordnung der Teilchengröße \Rightarrow **Interferenz**

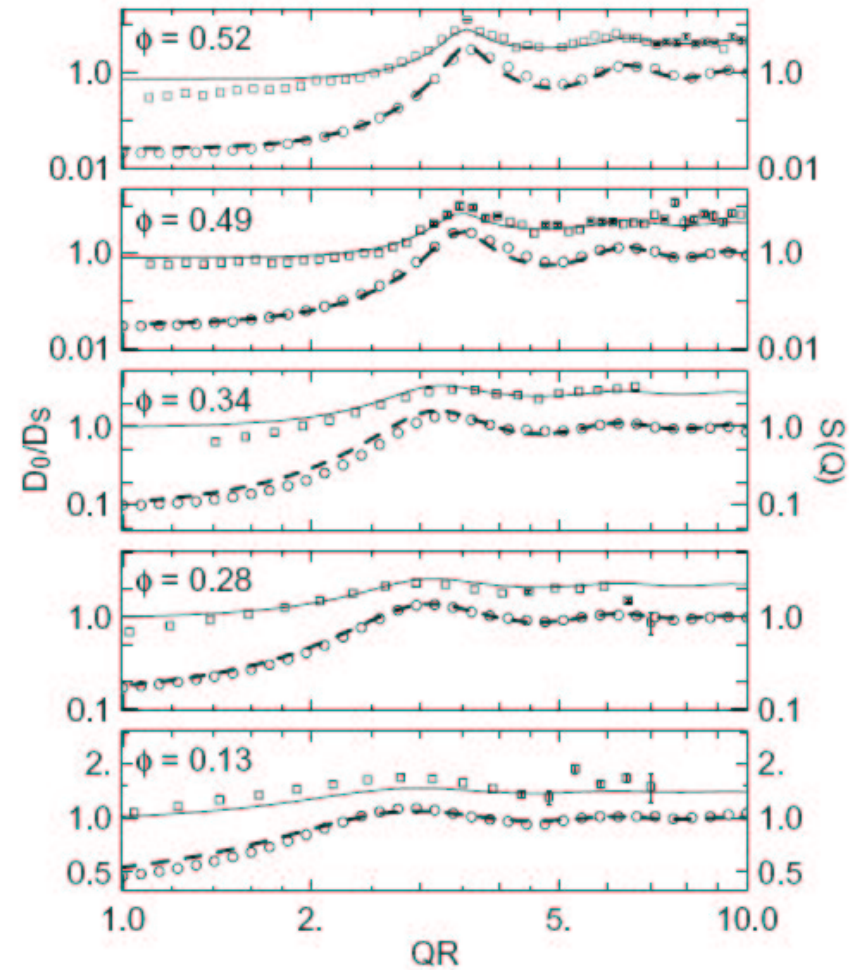


„Braggreflex“ von Langperiode ($d = 2\pi/q \approx 120 \text{ Å}$)



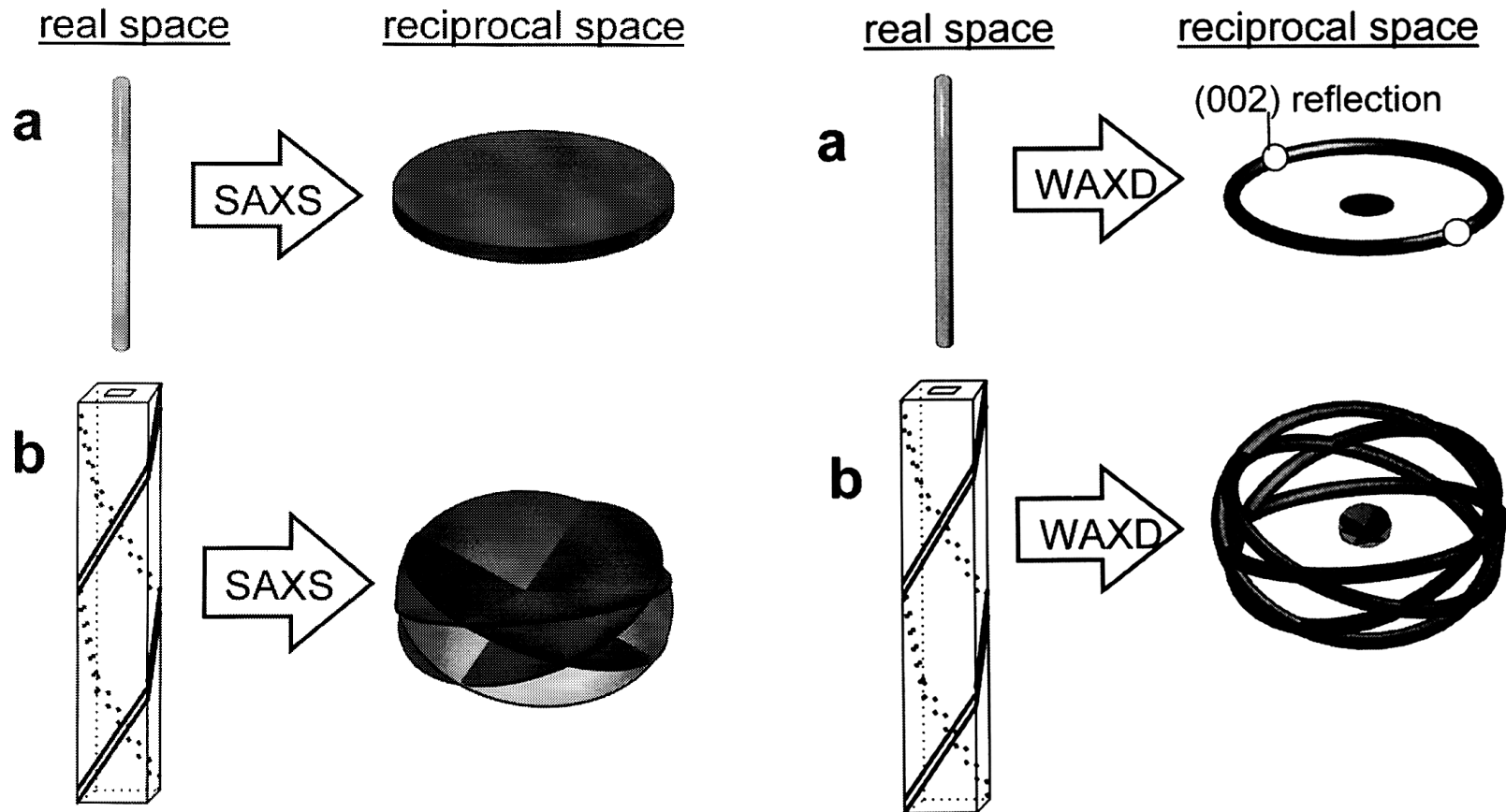
Streukurven

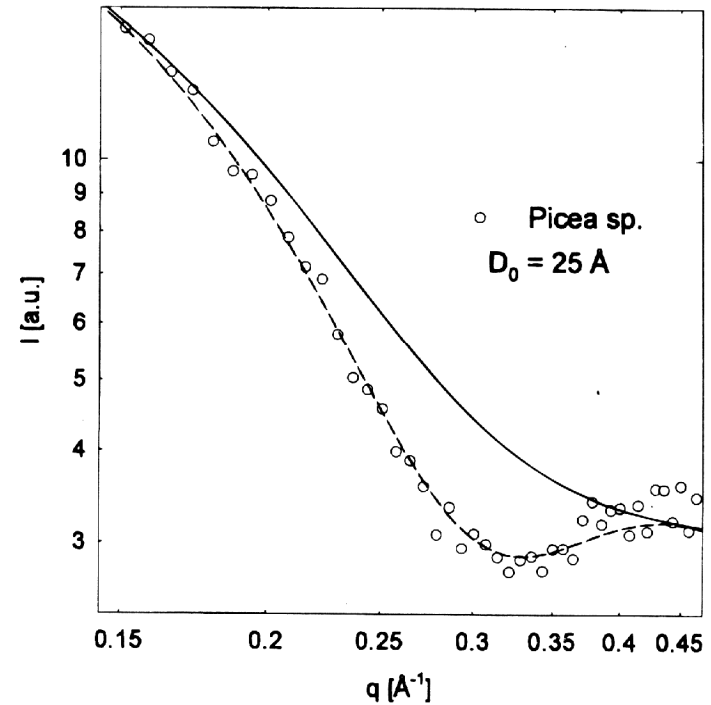
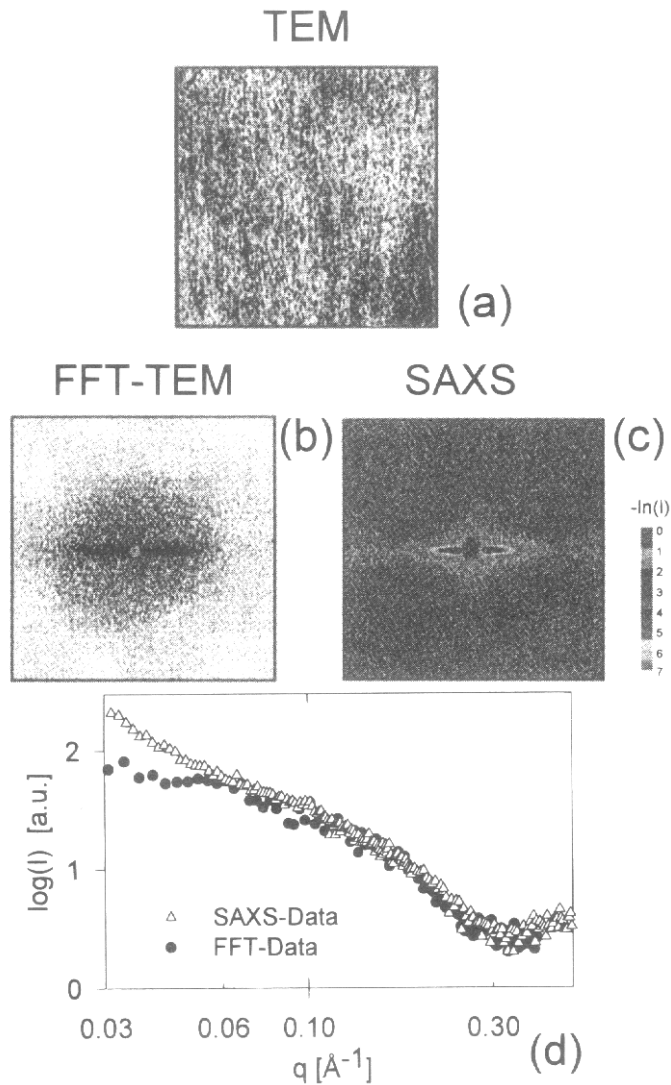
Strukturfaktoren



Vergleich von Kleinwinkelstreuung und Diffraktion

Beispiel: Holzzellen

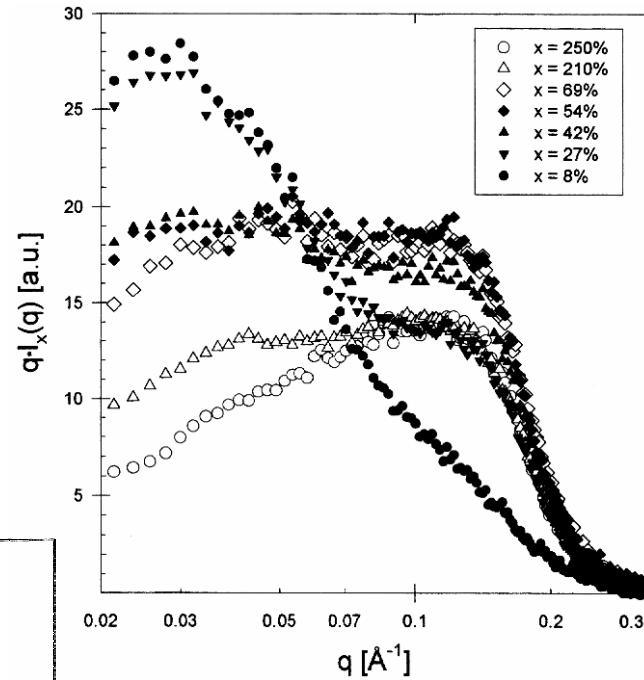
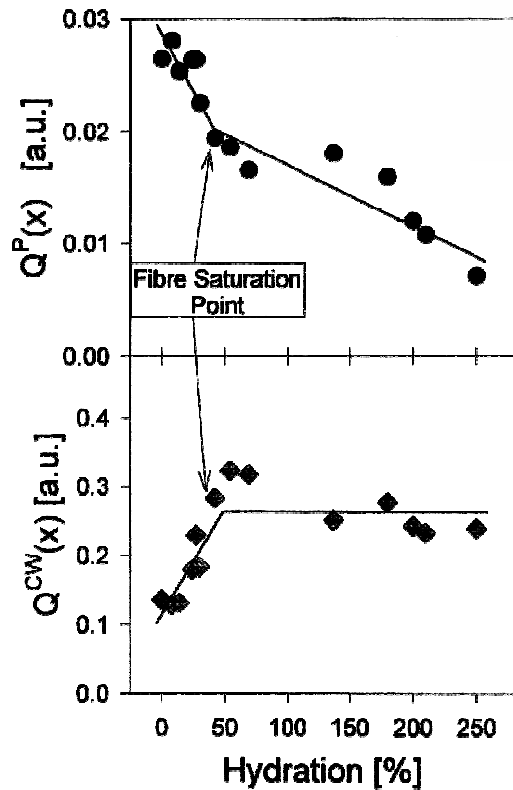




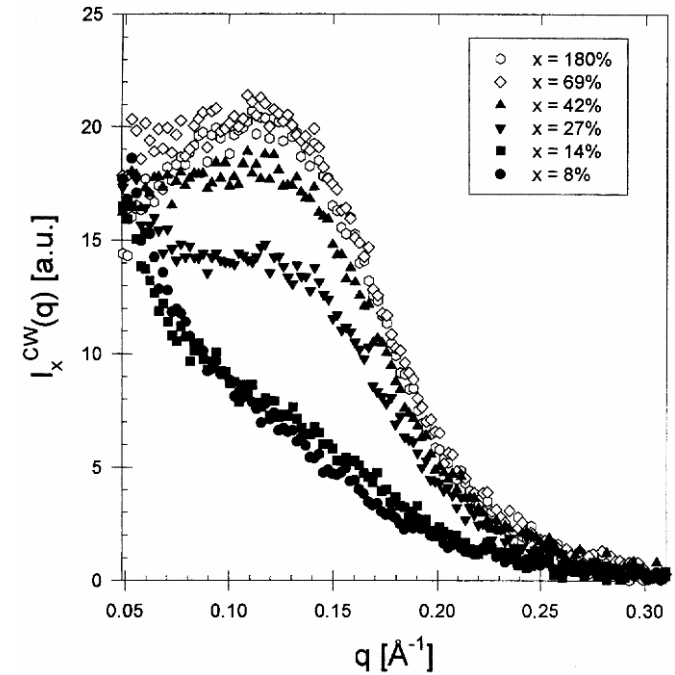
Anpassung der Streukurve mit einem Zylindermodell

SAXS und TEM im realen und reziproken Raum

Messungen bei
verschiedenem
Wassergehalt x



Rohdaten (SAXS)

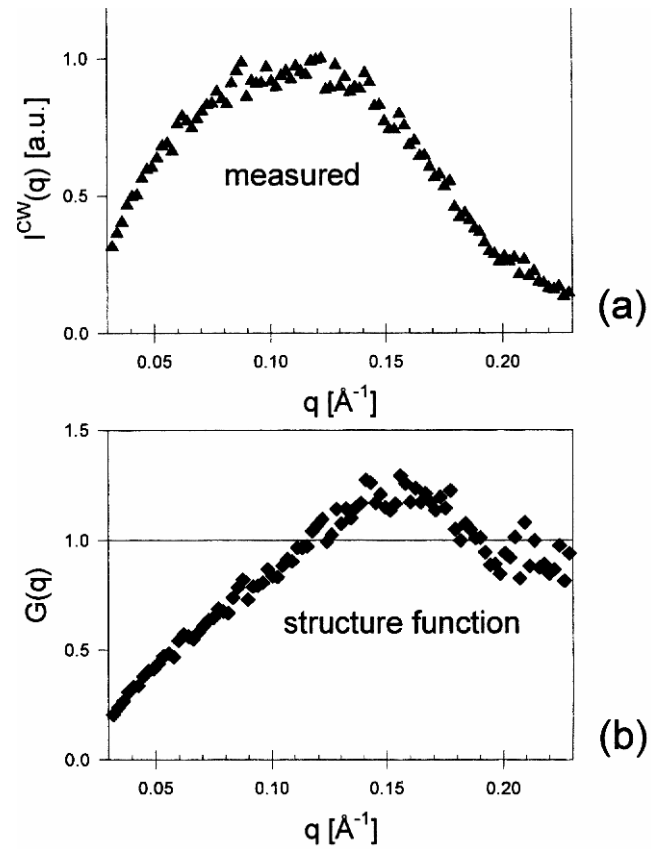


ohne Porenanteil

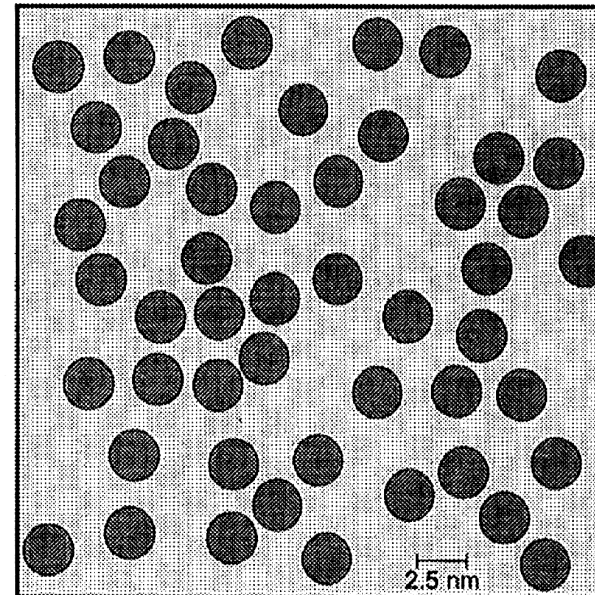
(a)

integral von Poren (a) und Zellwand (b)
gestreute Intensität

(b)



Streuungsfunktion der wassergesättigten Zellwand (a) und Strukturfunktion (b)

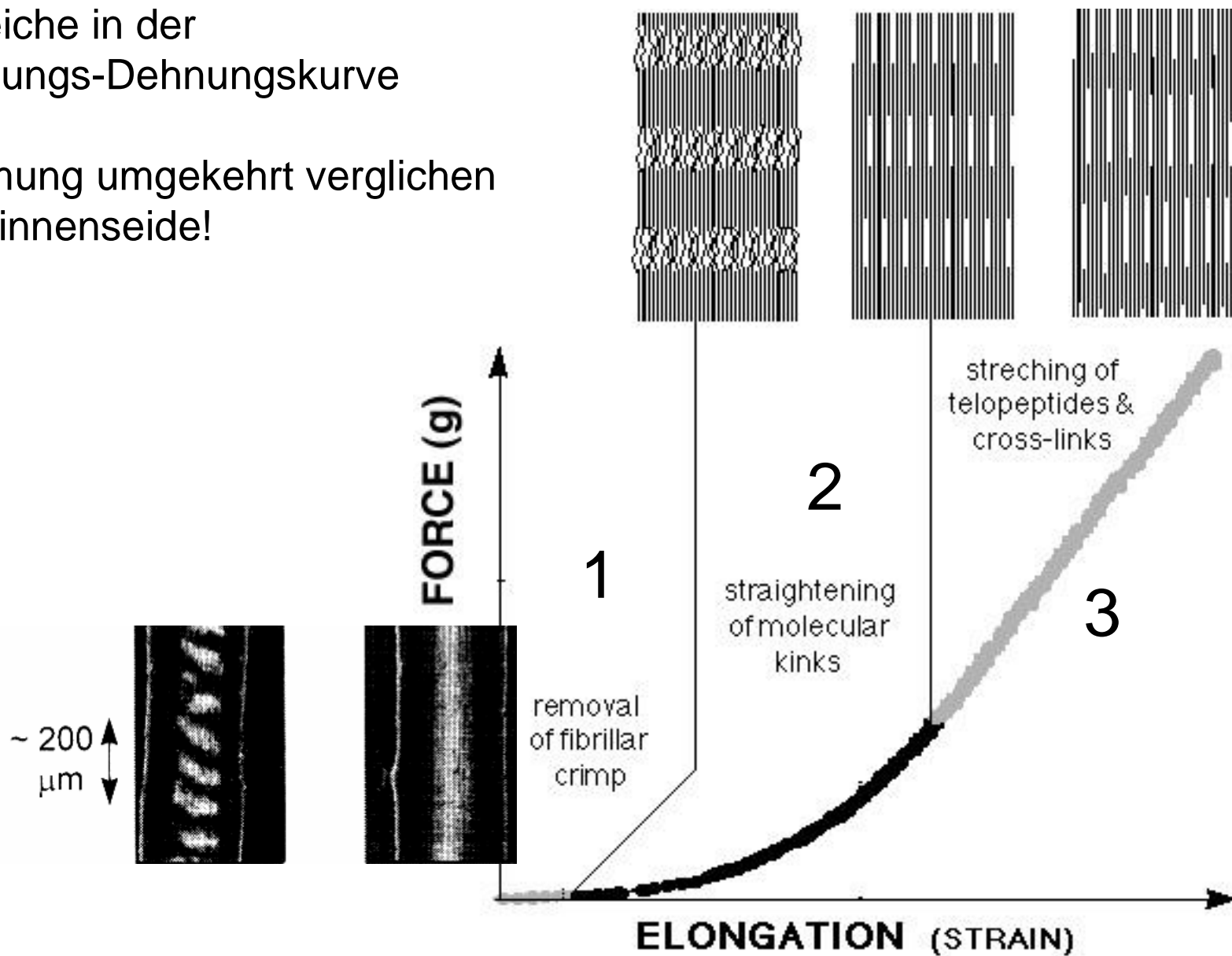


MFs im Querschnitt im realen Raum aus Simulationsrechnungen zur Strukturfunktion

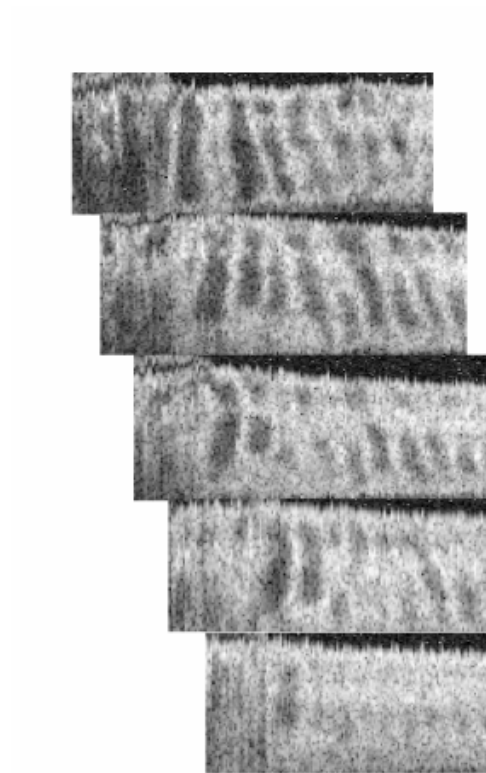
2.4.2 Mechanische Eigenschaften von Collagen

3 Bereiche in der
Spannungs-Dehnungskurve

Krümmung umgekehrt verglichen
mit Spinnenseide!

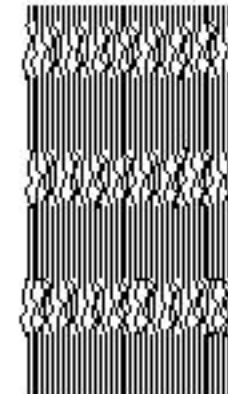
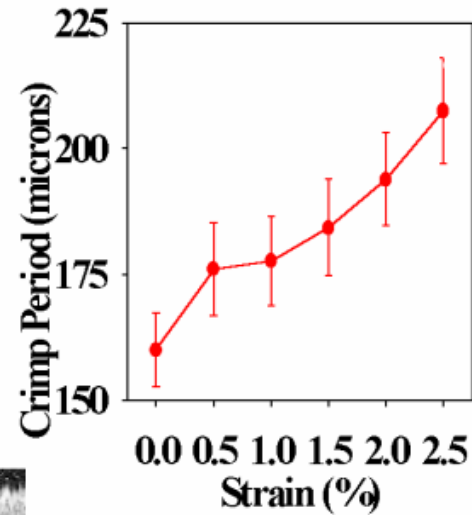


1. Geradeziehen der ganzen Faser

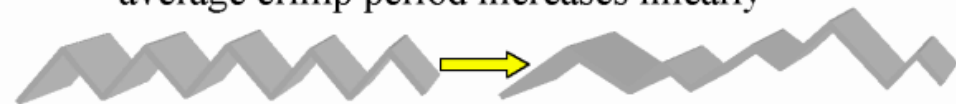


Lichtmikroskopie

Results



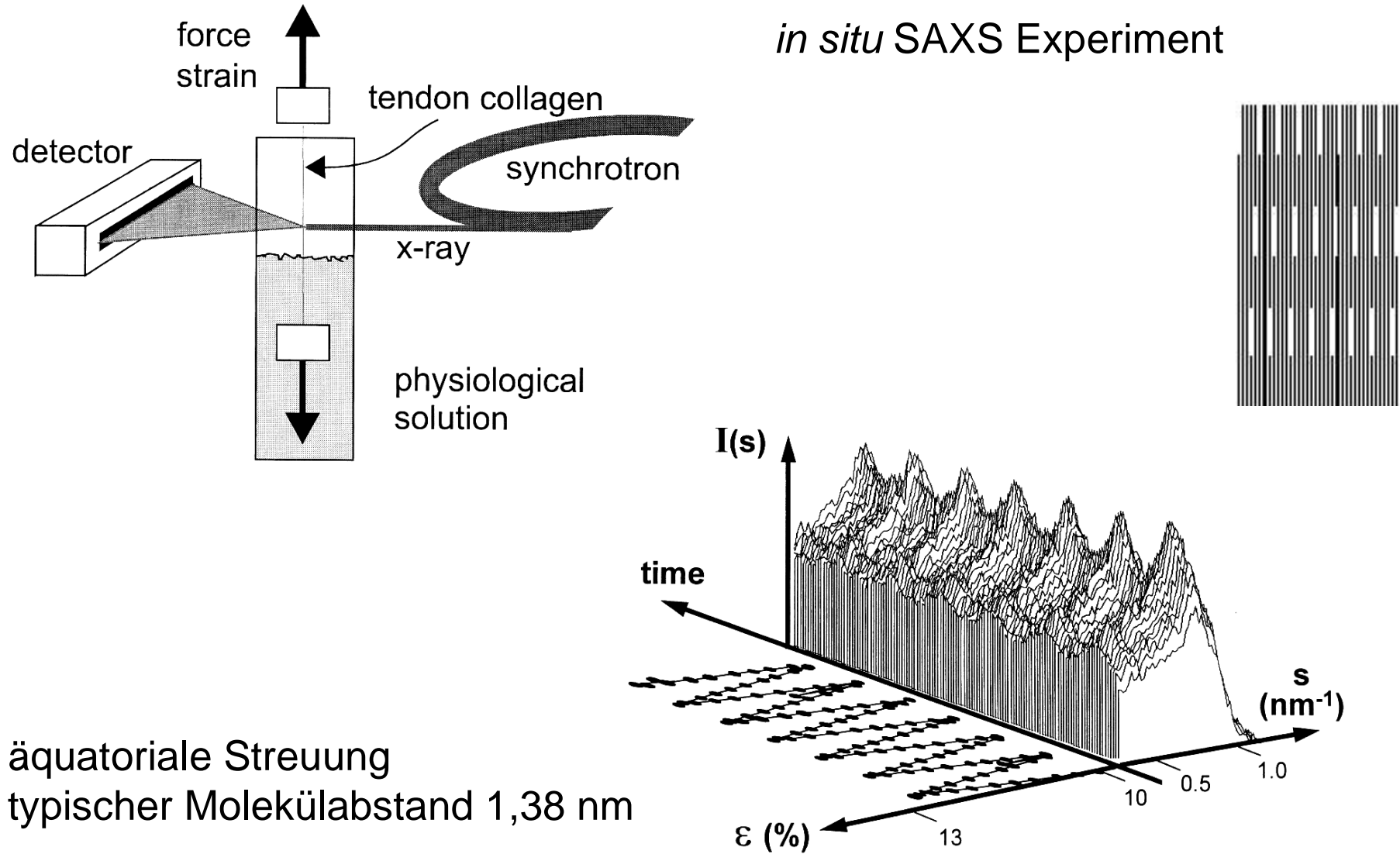
- Individual crimp periods do not change linearly, average crimp period increases linearly

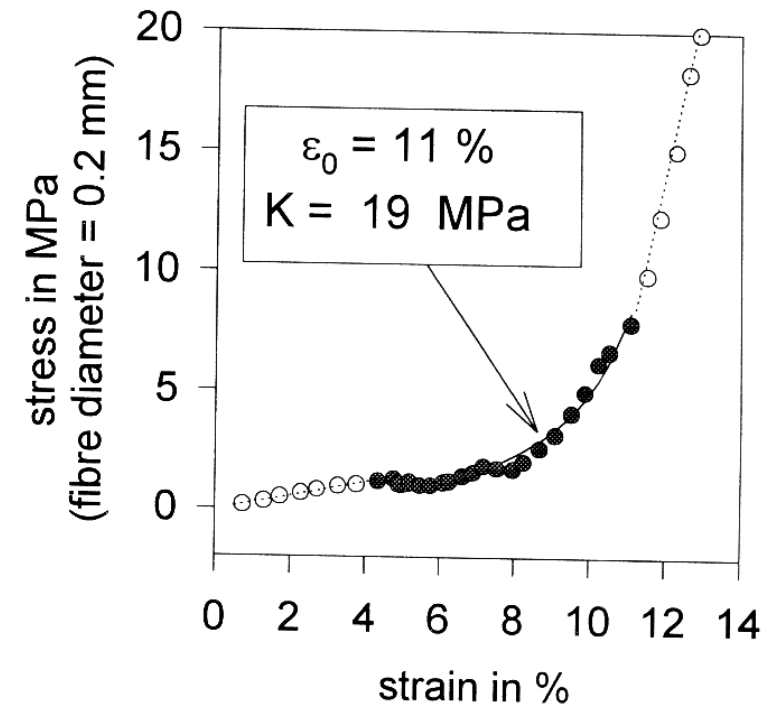
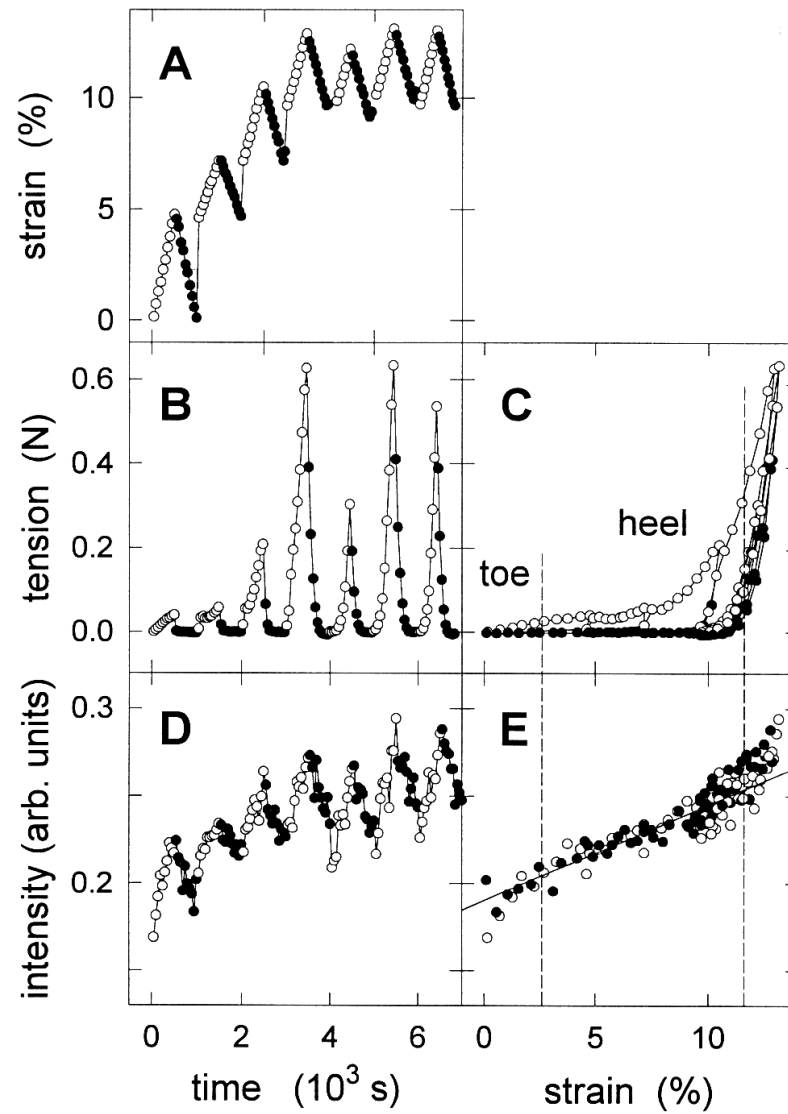


- Some crimp is extinguished and becomes part of another crimp period



2. Anstieg des E-Moduls; Glätten von "Kinks"

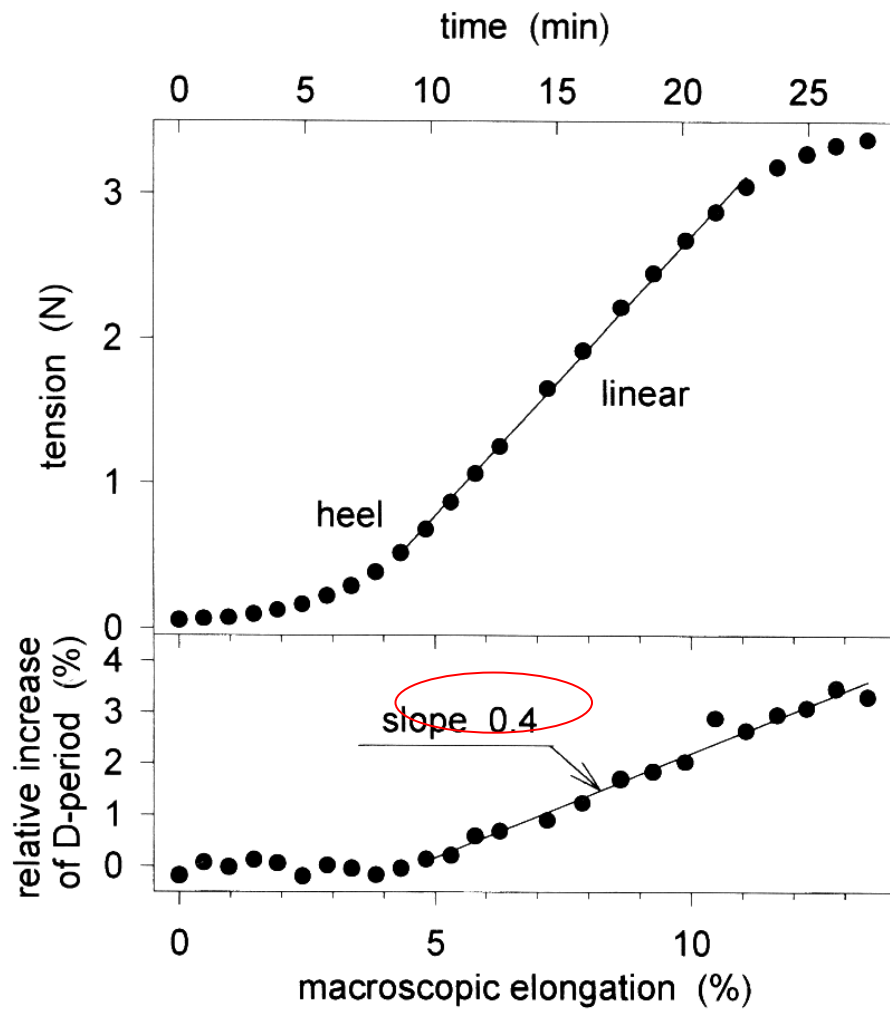




Modellfit für die
Übergangsregion

Ergebnisse zyklischer Belastung

3. Linearer Bereich; Moleküldehnung und Gleiten



Anstieg der 68 nm - Periode

