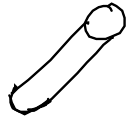


5.3 Biolog. Anwendungen

5.3.1 Fortbewegung / Transport ($Re < 1$)

- Fortbewegung \leftrightarrow nicht reziproker Bewegung
- Einschlub: Stokesde Keilung eines Zylinder



Unterschiede $\mu_{\parallel} < \mu_{\perp}$

Bewegungsformen:

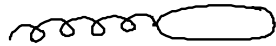
(1) flexible Wimpern/Zilien: (mit Filamente & Motoren)

Fortbewegung
von Zellen

festverankert:
Transp. von Flüssigkeit

$L = 5-10 \mu\text{m}$, $D \approx 200 \text{nm}$

(2) Bakteriellcs Flagellum $\hat{=}$ starrer helikaler "Stab" ($\hat{=}$ Propeller für $Re < 1$)



Rotation \rightarrow Translation: Erklärung

abstrakt: $\underline{F}^s \leftrightarrow \underline{\omega}$?

lin. Res. $\underline{F}^s = \underline{\mu} \underline{v} + \underline{C} \underline{\omega}$ (S.25)

\rightarrow Transformationsverhalten unter Inversion (Punktspiegelg) ($R_{ij} = -\delta_{ij}$)

polare Vektoren $\underline{F}_s, \underline{v} \rightarrow -\underline{F}_s, -\underline{v}$ } $\underline{C} \rightarrow -\underline{C}$ (S.26)
 Tensor: $\underline{\mu} \rightarrow \underline{\mu}$ } Pseudotensor

axialer Vektor: $\underline{\omega} \rightarrow \underline{\omega}$ (Pseudo-)

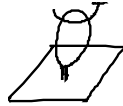
Bsp: $\underline{C} = C \underline{1}$

$C \dots$ Pseudoskalar: $C = \pm 1$
 für Links/Rechtsschraube
 eines chiralen Objektes

Histrie: Berg/Anderson (1973): erste Erklärung (\rightarrow erste Rotations-
 motor)

Bestätigung: $d(\text{Flagellums}) \approx 20 \text{nm} \rightarrow$ Beobachtung

Silberman/Siman:



⇒ Rotationsmotr.: Juwel der Nanotechnologie

• Beispiele: Einfluß von $Re < 1$ auf Mikroorganismen!

(1) Bewegung ↔ Ruhe (für Nahrungsaufnahme)



Zeitstufen: $\left. \begin{array}{l} \text{Beweg: } \frac{d}{v} \\ \text{Diffusion: } \frac{d^2}{D} \end{array} \right\}$

(S.27)

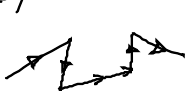
$$Pe = \frac{\text{Diffzeit}}{\text{Driftzeit}} = \frac{v d}{D}$$
 Peclet-Zahl

Bewegung wichtig
 für: $\frac{d}{v} < \frac{d^2}{D} \rightarrow v > \frac{D}{d}$ (S.28)

Bsp: $d = 1 \mu\text{m}, D \approx 1 \frac{\mu\text{m}^2}{\text{ms}} \rightarrow v > v_0 = \frac{D}{d} = 1000 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}}$

$\left. \begin{array}{l} v(\text{Zilie}) \\ v(\text{Baht}) \end{array} \right\} < v_0$

(2) E. coli: Zufallsweg mit Drift → pos. Nahrungsgradient ↔ Diffusion

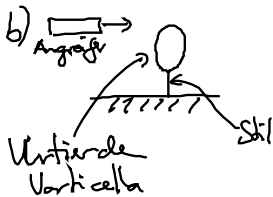


$\left. \begin{array}{l} v = 30 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}} \\ D = 1 \frac{\mu\text{m}^2}{\text{ms}} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{(S.28)}} d > \frac{D}{v} \approx 30 \mu\text{m}$

(3) $Re < 1$:



$\rightarrow \left. \begin{array}{l} a \rightarrow 12 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ Re \rightarrow 500 \end{array} \right\} \text{jenseits laminarer Fluß}$




$Re < 1$: Angriffer wird mitgezogen
 ⇒ schnelle Kontraktion von 0,2 mm → 0,1 mm
 ≙ Spasmorene (schnellste Kontraktion im Tierreich)

5.3.2 Gefäßnetzwerke

- Gefäß-Netzwerke \leftrightarrow Abfallbeseitigung } { Blut } hierarchische Verzweigungs-
Belieferung } { Luft } strukturen
Lymphgefäße

Bsp: Aorta-Arterien ...
Kapillargefäße

- Modell: zylindrische Poiseuille-Strömung

P  $p=0$ NS: $\rightarrow v(r) = \frac{R^2 - r^2}{4L\eta} p$ (5.29)

... parabol. Geschw. profil
(gültig auch für $Re > 1$,
so lang laminar,
 $v \cdot \nabla v = 0$!!!)

Ansflußrate: $\left[\frac{m^3}{s} \right]$ $Q = 2\pi \int_0^R v(r) r dr = \frac{\pi R^4}{8L\eta} p$ (5.30)


... Hagen-Poiseuille-Gesetz
für laminaren Fluß

\rightarrow alle Gefäße bis auf große Venen / Arterien

(5.30) $\rightarrow Q = \frac{1}{z} p, z = \frac{8\eta L}{\pi R^4}$... hydrodyn. Widerstand

allg. Gesetz von Darcy!

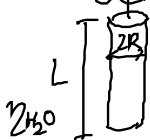
- $z \sim \frac{1}{R^4} \rightarrow$ Blutflußregulation durch kleine Dilatation/Kontraktion
Bsp: $\frac{p}{Q} = z \rightarrow z' = 1.3 z \rightarrow \frac{R'}{R} = 0.94 \approx 6\%$

 $\Rightarrow z = \frac{1}{AL_p}$ L_p ... Filtrationskoeff.

5.3.3 DNS-Replikation

- Trennung der DNS-Stränge \leftrightarrow große viskose Reibung bei Rotation?

- Abschätzung: ω \rightarrow viskoses Drehmit: o.B.



$T' = -4\pi\eta R^2 L \omega$ (5.32)

Reibungsarbeit pro Drehung

$W_{\text{frict}} = -T' \omega \frac{2\pi}{\omega} = 8\pi^2 \eta R^2 \omega L$ (5.33)

(1) E. coli: $\omega = 2\pi \frac{1000 \text{ Base-paare}}{s} \approx 600 \frac{1}{s} \xrightarrow{(5.33)} W_{\text{frict}} = 4.7 \cdot 10^{-17} \frac{J}{m}$

(2) DNA-Helicase:

$$\omega_{\text{scp}} = \frac{1 \text{ ATP}}{D_{\text{rel}}} = \frac{20 k_B T \approx 8.2 \cdot 10^{-20} \text{ J}}{D_{\text{rel}}}$$

$\Rightarrow \omega_{\text{scp}} \gg \omega_{\text{rot}} \text{ für } L \ll 2 \text{ mm}$