

MICRO-PIV MESSUNG IN *AMOEBEA PROTEUS* UNTER EINWIRKUNG EINES ELEKTRISCHEN FELDES

MICRO PIV MEASUREMENTS OF THE INTERNAL FLOW OF *AMOEBEA PROTEUS* UNDER INFLUENCE OF AN ELECTRICAL FIELD

E. Lobutova, L. Li, D. Voges, C. Resagk
Technische Universität Ilmenau, 98684 Ilmenau

μ-PIV, biologische Strömungen

Zusammenfassung

Wir berichten über Mikro-PIV Messungen in der Cytoplasmaströmung der *Amoeba proteus*. Die Geschwindigkeitsverteilung soll Einblick in die Mechanismen der Konturänderung während der Fortbewegung der *A. proteus* im Wasser geben. Neben der Cytoplasmaströmung ist auch die Variation der Kontur ein Teil unserer Untersuchungen. Die experimentellen Untersuchungen sollen als Grundlage für die analytische Beschreibung der Fortbewegung mittels Formänderung und für die anschließende Modellierung der Bewegungsmechanismen dienen.

Einleitung

Die Mobilität ist eine grundlegende Charakteristik der Lebewesen. Amöboide Fortbewegung ist der allgemeine Begriff für Mobilität durch Ausstrecken von Pseudopodien, Cytoplasmaströmung und Formveränderung. Diese Art Bewegung ist entscheidend für die Entwicklung des Embryos, für die Wundheilung und für die Aktivität des Immunsystems. Allerdings ist sie auch verantwortlich für die Ausbildung von Krebs-Metastasen. Für die Technik ist diese Bewegungsart interessant für die Entwicklung von Mikrorobotern ohne starre Füße und Antriebe, die insbesondere in engen Kanälen mit variablem Querschnitt eingesetzt werden können.

Experiment

Der experimentelle Aufbau des Mikro-PIV-Messplatzes ist in Abb. 1 dargestellt. Er besteht aus einem Motic AE31 Phasenkontrast-Mikroskop und einer 1,4 MPixel MoticamPro CCD-Kamera. Die Aufnahmefrequenz der Kamera beträgt 15 Hz. Die Beleuchtung erfolgt über die im Mikroskop eingebaute Halogenlampe. Als Tracer-Partikel werden die von Natur aus in dem Cytoplasma vorkommenden Partikel genutzt.

A. proteus werden in Mineralwasser mit pH-Wert 7,0 und 2% Erdabkochungsextrakt gehalten. *A. proteus* werden mit *Chilomonas* versorgt, die sich von den im Medium vorhandenen Bakterien ernähren. Für die Untersuchungen werden *A. proteus* einzeln entnommen und in eines „channel slide“ der Firma ibidi eingeführt.

Die PIV-Doppelbilder werden aus einer Videodatei extrahiert und mit einer Kreuz-Korrelations-Software von ILA analysiert.

Die Bildverarbeitungssoftware *ImageJ* wird für die Berechnung der Querschnittsfläche und Schwerpunktsbewegung genutzt.

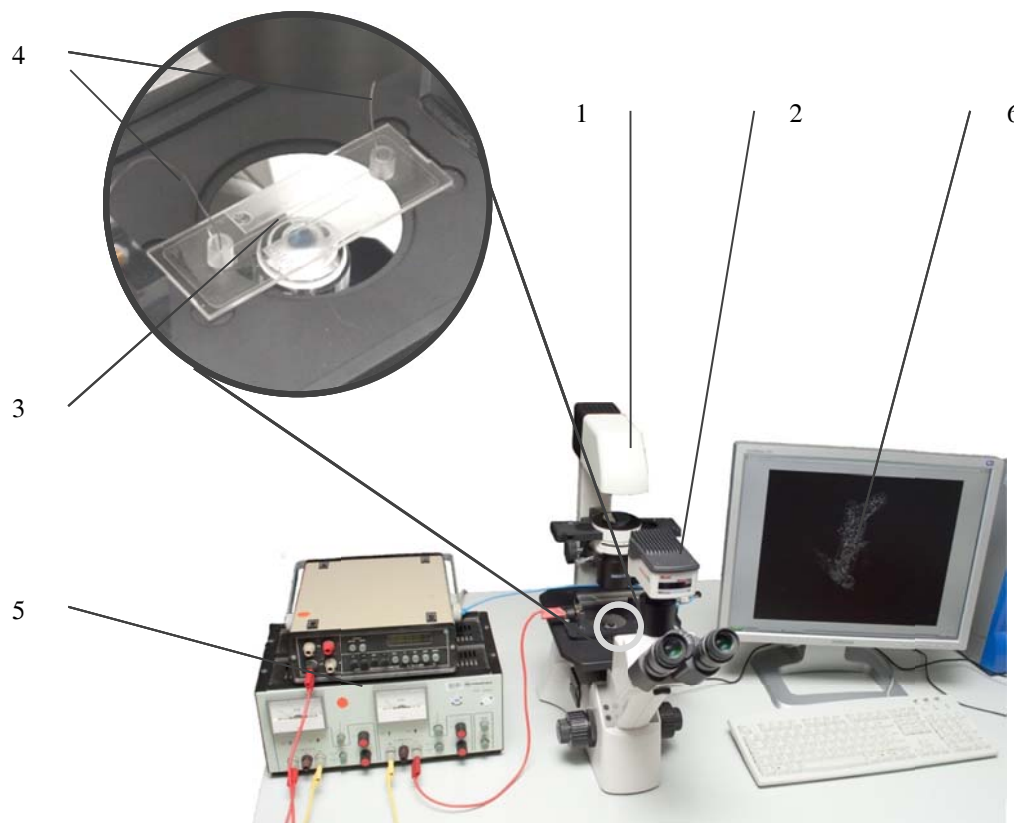


Abb. 1: 1 – Motic AE31 Inversmikroskop mit Phasenkontrast; 2 – MoticamPro 285C 1,4MPix;
3 – μ -Slide ibidi mit Beobachtungsvolumen $50 \times 5 \times 0,4 \text{ mm}^2$; 4 – Pt-Elektroden;
5 – Gleichstromquelle; 6 - Auswertung

Ergebnisse und Diskussion

A. proteus bewegen sich mithilfe von Pseudopodien fort, die an jeder Stelle der Zelloberfläche entstehen können. Die variable Anzahl, Form und Größe der Pseudopodien erschweren es, quantitative Aussagen über ihr Fortbewegungsverhalten zu treffen. Um die Fortbewegung zu kontrollieren, werden die *A. proteus* im elektrischen Feld untersucht, siehe Korohoda et al. 2000. In vorliegendem Experiment wurde mit zwei Platin-Elektroden im Abstand von 50 mm und einer Gleichspannung von 25 V gearbeitet. Der entsprechende galvanische Strom lag bei 0,02 mA. Damit erreicht man, dass sich die *A. proteus* vorzugsweise parallel zum äußeren Feld bewegen und nur selten Pseudopodien senkrecht dazu ausbilden. Abbildung 2 zeigt den Vergleich zwischen (a) *A. proteus* im Feld und (b) *A. proteus* ohne Feld. Die durch das elektrische Feld beeinflusste *A. proteus* zeigt eine ausgeprägte gestreckte Körperform ohne seitliche Pseudopodien, während sich die unbeeinflusste *A. proteus* kugelförmig gestaltet und Pseudopodien in alle Richtungen ausbildet.

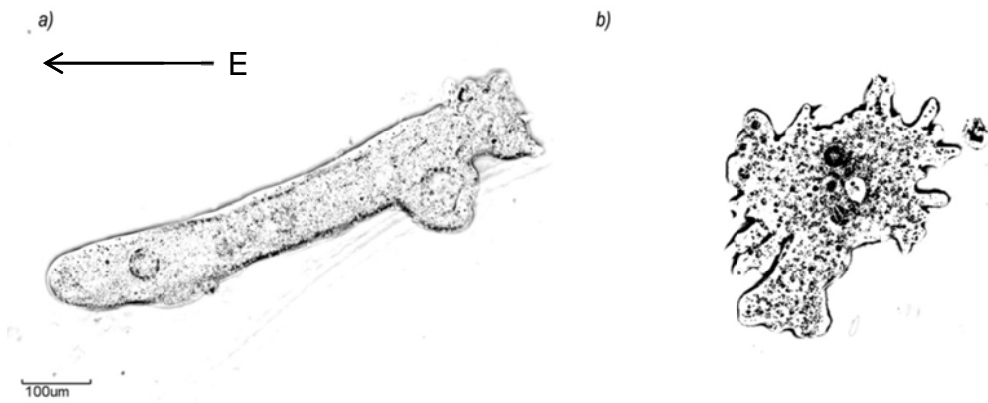


Abb. 2: Vergleich zwischen *Amoeba proteus* in elektrischem Feld (a) und ohne elektrisches Feld (b)

Erste μ -PIV-Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Sie zeigt das zeitabhängige Geschwindigkeitsfeld der Innenströmung von *A. proteus* im elektrischen Feld (a). Ursprünglich steht sie senkrecht zum elektrischen Feld. Nach dem Einschalten des Feldes beginnt *A. proteus* sich auszurichten. Die zwei senkrechten Pseudopodien ziehen sich zurück und ein neues Pseudopodium bildet sich in Richtung des elektrischen Feldes. Die bei dem Vorgang gemessenen Geschwindigkeiten reichen von 1 bis $6,5 \mu\text{m/s}$.

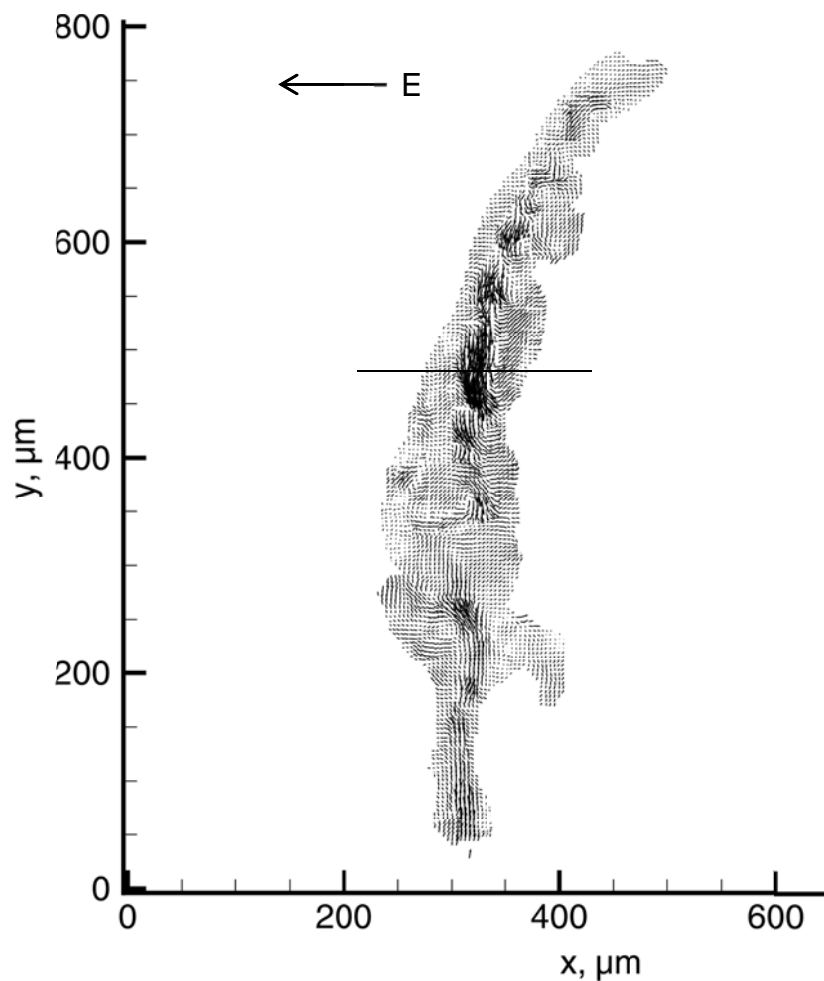


Abb. 3: PIV Vektorfeld der Innenströmung von *A. proteus*

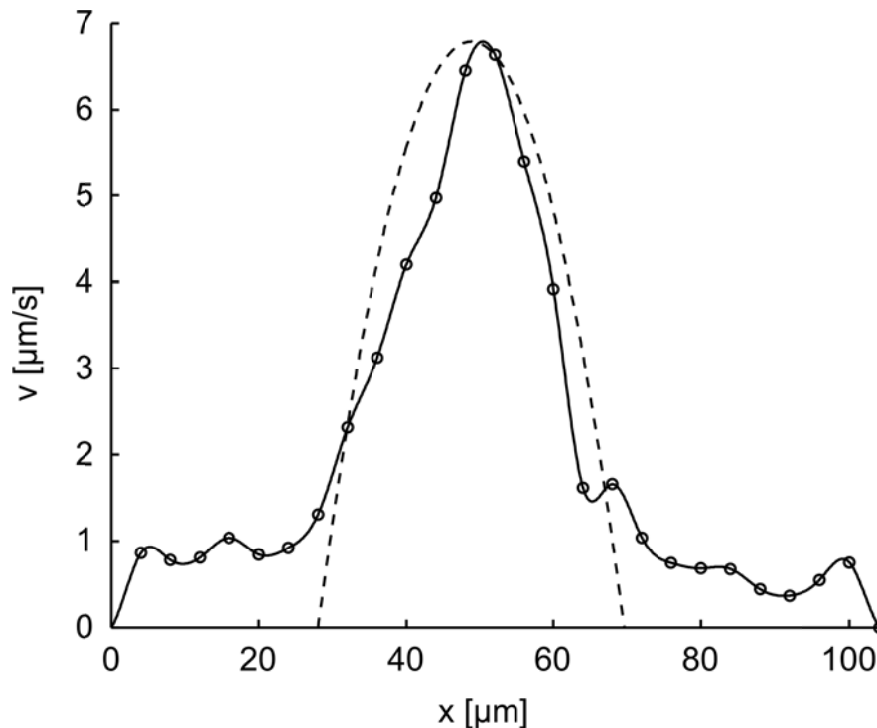


Abb. 4: Geschwindigkeitsprofil in der Ebene der maximalen Geschwindigkeit

Abbildung 4 zeigt das Geschwindigkeitsprofil in der Ebene der maximalen Geschwindigkeit (gekennzeichnet mit durchzogener Linie in Abb. 3). Die gestrichelte Linie stellt zum Vergleich das Geschwindigkeitsprofil für eine laminare Rohrströmung dar.

Hier zeigen sich zwei unterschiedliche Phasen der Cytoplasmaströmung. In der Mitte der *A. proteus* befindet sich eine niedrigviskose, wasserähnliche Lösung, deren Strömung durch die Änderung des statischen Druckes innerhalb der *A. proteus* bei der Formänderung angetrieben wird. Der Außenbereich mit zirka 25 – 30 µm Wandabstand ist durch hochviskoses Zellmaterial gekennzeichnet und strömt synchron mit der Wandbewegung.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Schwerpunktprogramms SPP 1207 „Strömungsbeeinflussung in der Natur und Technik“, Projekt RE 1066/10-3.

Literatur

Korohoda, W., Mycielska, M., Janda, E., Madeja, Z., 2000: „Immediate and Long-Term Galvanotactic Responses of *Amoeba proteus* to dc Electric Field“, *Cell Motility and the Cytoskeleton*, 45:10-26