
SIMULATIONSGESTÜTZTES DESIGN VON MIKROFLUIDISCHEN SYSTEMEN

Der Einsatz mikrofluidischer Systeme in Biotechnologie, Medizintechnik oder Sensorik nimmt stetig zu. Ein erfolgreiches Design solcher Systeme erfordert die Kontrolle über den Transport kleinster Flüssigkeitsvolumina. So ist beispielsweise die restlose Entleerung kleiner Kanäle und Kavitäten wesentlich für die Reproduzierbarkeit und Effizienz von Nachweisverfahren der In-vitro-Diagnostik (Abbildung 1).

In der Praxis ist der Flüssigkeitstransport abhängig vom Benetzungsverhalten der Flüssigkeit auf der Oberfläche der Komponente. Deren Oberflächenenergie beeinflusst die Benetzung und die Mobilität der Flüssigkeit ebenso wie größere Rauheiten oder Oberflächendefekte, beispielsweise Risse oder Löcher. Diese führen zum Pinning der Dreiphasen-Kontaktlinie (Kontaktlinie zwischen den Phasen fest, flüssig, gasförmig) und zur Ausbildung einer sogenannten Kontaktwinkelhysterese. Damit wird beispielsweise das Entleerungsverhalten der Komponente signifikant beeinflusst. Günstig für eine möglichst restlose Entleerung ist eine möglichst niedrige Kontaktwinkelhysterese. Das Ziel am Fraunhofer IWM ist es, das Benetzungsverhalten von Flüssigkeiten auf strukturierten Oberflächen besser zu verstehen und gezielt zu steuern, um so verbesserte Eigenschaften von Mikrofluidikkomponenten zu erreichen.

Vorbild: Natur

Die Natur bietet dazu einige Beispiele. So ist die Oberfläche des Lotusblatts mit einem hydrophoben Wachsfilm beschichtet. Zusätzlich garantiert eine hierarchisch angelegte Strukturierung der Oberfläche ein superhydrophobes Benetzungsverhalten und dadurch eine äußerst effiziente Selbstreinigung und beste Antihafteigenschaften. Diese geometrische Strukturierung soll in

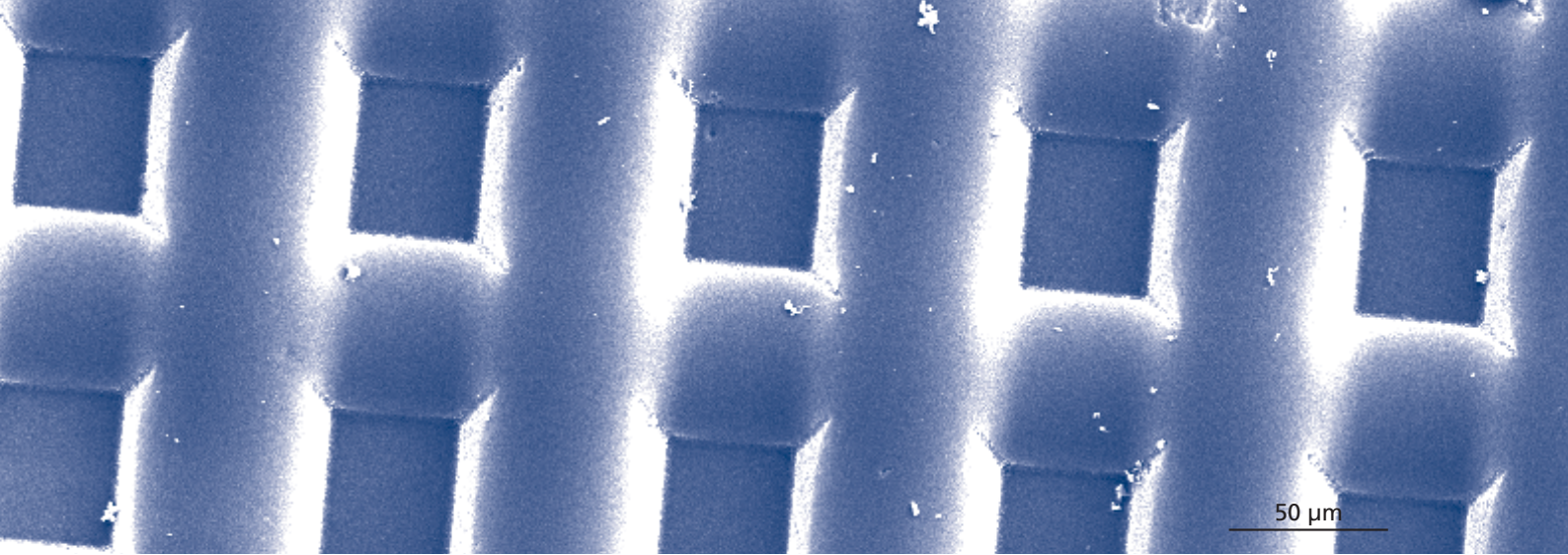
der Praxis adaptiert werden, um durch künstliche Oberflächenstrukturen die verbleibende Restmenge beim Umfüllen oder Entleeren möglichst weit abzusenken.

Tropfen-Simulation entwickelt

Um die Zusammenhänge zwischen Oberflächenstrukturierung und Benetzung zu untersuchen, wurde am Fraunhofer IWM ein Simulationstool entwickelt, mit dem die Bewegung einzelner Tropfen numerisch verfolgt werden kann. Dadurch ist es möglich, Hinweise auf optimale Oberflächenstrukturierungen zur Prozessierung von Fluiden mit unterschiedlichen Eigenschaften zu geben. Die Simulation basiert auf der Computational-Fluid-Dynamik(CFD)-Methode, die eine genaue Vorhersage der Bewegung der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Luft ermöglicht.

Flüssigkeitstransport auf strukturierten Substraten

Mit dem Tool wurden die Benetzung und der Flüssigkeitstransport auf zahlreichen strukturierten Substraten simuliert. Abbildung 2 zeigt am Beispiel der statischen Benetzung einer strukturierten Polystyroloberfläche mit einem Wassertropfen die gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Experiment. Gleichzeitig liefert die Simulation in der vorhergesagten Ausbildung von Luftpolstern in den unterhalb des Tropfens befindlichen Kavitäten die Erklärung für den – in Anbetracht der relativen Hydrophilie unstrukturierter Polystyroloberflächen – überraschend hohen Kontaktwinkel. Die deutlich erkennbare Abweichung des Tropfenrandes von der Kreisform beruht auf dem Bemühen des Fluids, den Kontakt mit dem Substrat zu maximieren und den Kontakt mit der Luft zu minimieren. Neben dieser statischen Kontur des Tropfens können in der Simulation auch dynamische Benetzungsphänomene vorhergesagt werden.

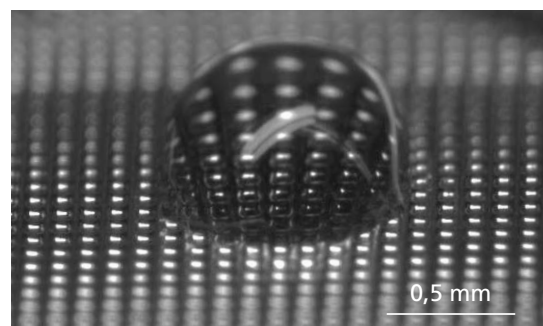
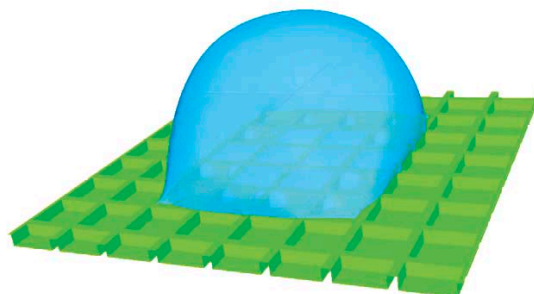
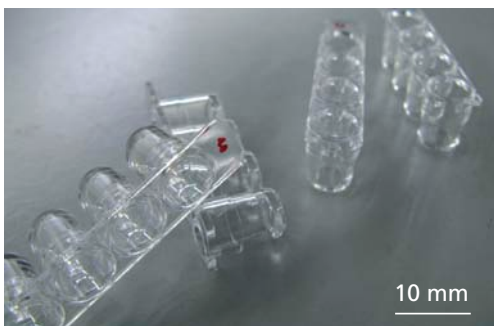


Mikrometerfeine strukturierte Polystyroloberfläche für mikrofluidische Anwendungen.

Mit dem entwickelten Simulationsmodell kann das Design von mikrofluidischen Komponenten im Computer optimiert und neue Designvarianten bezüglich ihrer Praxistauglichkeit schnell analysiert werden. Darüber hinaus ist das Tool auch für andere

Systeme mit Fest-Flüssig-Wechselwirkungen, wie Nanoprinting, Löten oder Oberflächenbeschichtungen einsetzbar.

Dr. Adham Hashibon, Pit Polfer



1 Beispiel für den Einsatz funktionalisierter Kunststoffoberflächen in der Medizintechnik: Multiwellplatten mit mikrofluidisch wirksamen Oberflächenstrukturen (oben), Diagnostikchip zur Detektion von DNA-Sequenzen in wässrigen Substraten (unten).

2 Statische Benetzung einer strukturierten Polystyrol-Oberfläche mit Wasser. Vergleich von Simulation (oben) und Experiment (unten).